Environnement Canada
Service canadien des forêts

Environment Canada
Canadian Forestry Service

Modèle de simulation pour la récolte de biomasse forestière

Jean-Guy Routhier
Darveau,Grenier,Lussier et Associés

Projet ENFOR P-237

Rapport d'information LAU-X-53

Centre de recherches forestières des Laurentides

Environment Canada
Environnement Canada

00160246 DEST PVM EXCH COPY 03
SB 761 C328
VOL ISS 53
CENTRE DE RECHERCHES DES LAURENTIDE
S. RAPPORT D'INFORMATION LAU-X

Énergie
ENFOR
de la Forêt

Canada

MODÈLE DE SIMULATION POUR LA RÉCOLTE DE BIOMASSE FORESTIÈRE

Jean-Guy Routhier
Darveau, Grenier, Lussier et Associés
Projet ENFOR P-237

Rapport d'information LAU-X-53
1983

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES
SERVICE CANADIEN DES FORÊTS
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:

Centre de Recherches forestières
des Laurentides
Service canadien des forêts
Ministère de l'Environnement
1080, route du Vallon
C.P. 3800
SAINTE-FOY (Québec)
G1V 4C7

Also available in English under the title "Forest biomass harvesting simulation model".

N° de catalogue Fo46-18/53F
ISBN 0-662-92063-5
ISSN-0703-2196

© Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1983

AVANT-PROPOS

ENFOR est l'acronyme bilingue du programme de recherche et de développement en matière d'ENergie FORestière (ENergy from the FORest) du Service canadien des forêts, qui vise à s'assurer les connaissances et la compétence technique nécessaires afin de favoriser une forte augmentation de la contribution, à moyen et à long terme, de la biomasse forestière à la production d'énergie primaire de notre pays. Ce programme s'inscrit dans le cadre d'une entreprise beaucoup plus vaste du gouvernement visant à promouvoir le développement et l'utilisation de l'énergie renouvelable dans le but de réduire notre dépendance à l'égard du pétrole et des autres sources énergétiques non renouvelables.

Les projets d'ENFOR sont sélectionnés parmi une série de propositions présentées par des organisations de recherche privées et publiques, selon le bien-fondé scientifique et technique de chacune et à la lumière des objectifs et des priorités du programme. Quelle que soit l'origine de la proposition, les projets sont surtout réalisés par contrat. Des informations additionnelles sur le programme ENFOR peuvent être obtenues en s'adressant au:

Secrétariat ENFOR
Service canadien des forêts
Ministère de l'Environnement
OTTAWA (Ontario)
K1A 1G5

... ou au directeur de l'établissement d'où provient le présent rapport.

Ce rapport, qui découle du projet ENFOR P-237, a été préparé par Jean-Guy Routhier, ing. f., M.E.S. suite au mandat confié à la firme Darveau, Grenier, Lussier et Associés (dossier MAS 11-SD-KH-303-1-C-023).

Le travail effectué durant cette étude a abouti à la réalisation d'un modèle de simultation. Ce dernier se veut un moyen simple et efficace pour planifier et coordonner, de façon la plus économique possible, les opérations de récolte de la biomasse forestière dans le cadre des petites propriétés privées du Québec.

RESUMÉ

L'exploitation de la biomasse forestière, dans le cadre de la forêt privée, a généralement lieu dans de jeunes peuplements denses composés en majorité de tiges dont le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) varie de 2 à 10 ou 12 cm. Le peu d'expertise dans l'exploitation de ces peuplements a suscité la conception et la réalisation d'un modèle permettant de simuler l'exploitation de la biomasse sur ordinateur afin d'identifier et de hâter le développement de systèmes d'exploitation efficaces.

Ce rapport présente le modèle de simulation conçu à cette fin. Il décrit la façon d'utiliser le modèle, précise les données requises pour réaliser une simulation et explique les résultats obtenus. Tout au long du texte, on présente diverses situations où la simulation peut être utilisée pour prévoir ou améliorer la productivité et les coûts d'une exploitation. En dernier lieu, un exemple de la simulation d'une opération de mise en copeaux de la biomasse est présenté, accompagné d'une discussion des résultats obtenus.

ABSTRACT

Forest biomass harvesting, in the context of private forests, is usually carried out in dense, young stands comprising stems whose diameter at breast height varies from 2 to 10 or 12 cm. Little expertise available in the harvesting of those stands led to the design and the construction of a simulation model to identify and develop efficient forest biomass harvesting systems.

This report presents the simulation model developed for this specific purpose. The use of the model is clearly described, the required data to carry out a simulation are identified, and the results obtained through simulation are explained. As the test goes, different situations are presented where simulation may be used to forecast and improve harvesting productivity and costs. In the last part of the report, an example of a chip harvesting simulation for biomass is presented, along with a discussion of results.

darveau, grenier, lussier et associés
INGÉNIEURS FORESTIERS ET CONSEILLERS EN GESTION
270, AVENUE CASOT QUÉBEC P.Q. G1S 2X9 ■ CANADA ■ 683 2385

PLAN DE MISE EN VALEUR DU TERRITOIRE FORESTIER
ANALYSE DES SYSTEMES D'EXPLOITATION FORESTIERE
ETUDES DE RENTABILITE
RECHERCHE OPERATIONNELLE

Le 29 juin 1982.

Dr. Gilles Frisque,ing.f.,
Centre de recherches forestières des Laurentides,
1080 route du Vallon,
Saint-Foy, Qué.
G1V 4C7

Cher Docteur Frisque,

Je vous fais parvenir, avec la présente, l'original et les copies requises du rapport "Modèle de simulation pour l'étude de l'exploitation de la biomasse forestière" concernant le projet ENFOR P-237 (contrat MAS 11SD.KH 303-1-C-023).

Ce modèle de simulation est très flexible et d'usage simple comme vous pourrez le constater à la lecture du rapport. Il permet d'étudier les coûts et la productivité des machines faisant parti d'un système d'exploitation de la biomasse forestière. Le rapport traite de nombreuses situations se prêtant à une analyse par simulation et présente la simulation d'une exploitation de mise en copeaux de la biomasse à titre d'exemple.

Veuillez accepter, cher monsieur, l'expression de mes salutations distinguées.

Votre tout dévoué

DARVEAU, GRENIER, LUSSIER & ASSOCIES
PAR:

Jean-Guy Routhier

Jean-Guy Routhier, ing.f., m.e.s.

Pièces incluses:cv

TABLE DES MATIÈRES

	Page
AVANT-PROPOS	i
RÉSUMÉ	iii
ABSTRACT	iv
LETTRE D'INTRODUCTION	v
TABLE DES MATIÈRES	vii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1- LA RÉCOLTE DE LA BIOMASSE ET SA SIMULATION	3
1.1 Méthode de récolte	3
1.2 Simulation de la récolte de la biomasse	4
CHAPITRE 2- DESCRIPTION DU MODULE DE CALCUL	
2.1 Données d'entrée	7
2.1.1 Renseignements d'application générale	8
2.1.2 Données propres à chaque engin d'exploitation	11
2.1.3 Données propres à chaque camion	15
2.2 Résultats produits par le module de calcul	17
2.3 Explication des calculs	19
2.4 Conclusions	21
CHAPITRE 3- DESCRIPTION DU MODULE DE SIMULATION	
3.1 Caractéristiques du module de simulation	23
3.2 Mode d'utilisation du module de simulation	25
3.3 Description des formulaires d'entrée	28
3.4 Présentation des résultats de la simulation	42
3.5 Explication et utilisation de la trace	50

CHAPITRE 4- UN EXEMPLE DE SIMULATION 57
4.1 Remarques sur l'ensemble présenté 76
4.2 Conclusions 83

CHAPITRE 5- USAGES ET LIMITATIONS DE LA SIMULATION 85
5.1 La simulation comme outil de formation 85
5.2 Limitations de la simulation 85
5.3 Conclusions 87

APPENDICE 1 GUIDE POUR L'ÉVALUATION DES COÛTS DE PRÉPARATION DU SITE ET DE DÉMÉNAGEMENT DES ÉQUIPEMENTS . . . 89

APPENDICE 2 PRÉSENTATION DU PROGRAMME DU MODULE DE CALCUL "CALCULCOUT". 93

APPENDICE 3 PRÉSENTATION DU PROGRAMME DU MODULE DE SIMULATION "SIMULATION" 107

INTRODUCTION

Au cours de 1980, le Syndicat des Producteurs de Bo[illegible] du Bas Saint-Laurent, Les Papiers Cascades et Rexfor ont convenu d'entreprendre un projet de recherche ayant pour objectif l'étude des méthodes d'exploitation et de transport se prêtant le mieux à la récupération de la biomasse forestière produite lors des travaux sylvicoles d'assainissement et d'amélioration des peuplements mélangés et feuillus.

Le Syndicat des Producteurs de Bois du Bas Saint-Laurent espère par ce projet réussir à réduire le coût net des travaux sylvicoles grâce à la vente de la biomasse forestière récupérable et ainsi pouvoir à partir des mêmes budgets traiter de plus grandes superficies.

Les Papiers Cascades de Cabano et la Société d'État Rexfor, pour leur part, y voient une source additionnelle d'approvisionnement en biomasse pour la production de pâte ou d'énergie à un coût compétitif, ainsi qu'une augmentation du potentiel forestier régional lequel est la base même de leur existence.

Le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, étant déjà fortement impliqué dans le financement des travaux sylvicoles sur les terrains privés et face à l'intérêt démontré par les propriétaires forestiers et les industriels, s'est joint au projet par l'entremise de l'Office de Planification et de Développement du Québec. L'État sera d'ailleurs largement bénéficiaire de la réussite de ce projet puisqu'une utilisation plus complète de la biomasse forestière entraîne nécessairement une activité économique accrue et contribue à la mise en valeur d'une richesse naturelle auparavant négligée.

L'encadrement, le développement et la réalisation de ce projet de récupération de biomasse ont été confiés à la firme d'ingénieurs forestiers conseils Darveau, Grenier, Lussier et Associés, laquelle en collaboration avec le Groupement Forestier Agricole de Taché Inc. et la Corporation

Agro-forestière du Témiscouata Inc. a dirigé une première phase d'essais de récupération de biomasse forestière durant l'automne 1981.

Suite à ces travaux, le ministère de l'Environnement du Canada par l'entremise du Service canadien des forêts fut invité à participer au projet pour l'analyse des données recueillies et l'élaboration d'un modèle de simulation permettant d'étudier sur ordinateur les implications des diverses stratégies d'opération et d'arriver ainsi à limiter aux plus prometteuses les stratégies de production à expérimenter sur le terrain. Le Service canadien des forêts, par le biais du Programme ENFOR, a accepté de participer au projet dans ce cadre en considération du fait qu'une partie de la biomasse récoltée est destinée à la combustion et contribue à la substitution du pétrole par un combustible local et qu'il vise la mise au point de méthodes de récolte de la biomasse forestière.

Ce rapport présente le modèle de simulation conçu pour l'étude de la récolte de la biomasse. Il explique son mode d'utilisation et commente les résultats qu'il produit. Un exemple de simulation est présenté afin d'en illustrer les usages. Le programme ordinateur du modèle utilise le langage APL et est décrit en appendice.

Le modèle de simulation est composé de deux modules. Le premier permet de calculer le coût d'opération d'un engin forestier à partir de la connaissance de son prix d'achat, de sa fiabilité mécanique et de sa productivité. Le deuxième est le modèle de simulation proprement dit; il simule les activités et les interrelations des machines impliquées dans une opération de récolte de biomasse et en calcule les coûts de revient. En fait, le premier module permet d'estimer les coûts d'opération des équipements, alors que leur opération est simulée par le deuxième module.

CHAPITRE 1
LA RÉCOLTE DE LA BIOMASSE ET SA SIMULATION

1.1 Méthode de récolte

Lors de la phase expérimentale de l'automne 1981, une méthode d'exploitation déjà éprouvée pour la récolte de peuplements marchands a été utilisée. Il s'agit de l'abattage manuel, du débardage à l'aide d'équipements conventionnels, de la mise en copeaux en bordure de route et de la livraison par camions équipés d'une semi-remorque. Ce système de production, en plus d'avoir déjà prouvé son efficacité pour la récolte de peuplements à maturité, a l'avantage d'utiliser des équipements en majorité disponibles localement.

Quatre types de débardeuses furent expérimentées, ce sont:

- une débardeuse sur roues à châssis articulé d'une puissance d'environ 90 HP;
- un porteur sur chenilles F-4 Dion, surtout employé sur les sites en pente;
- un porteur sur roues équipé d'une grue de chargement et d'une puissance d'environ 80 HP (John Deere 440);
- un semi-porteur sur roues d'une puissance d'environ 125 HP (Volvo 861).

Le déchiquetage fut effectué par une déchiqueteuse Morbark modèle 22 d'une puissance de 380 HP.

Les semi-remorques employées mesuraient 15 mètres de long pour une charge moyenne de 26,6 tonnes vertes.

La biomasse récupérée provenait d'une variété de peuplements jeunes de type mélangés ou feuillus et dont le diamètre des arbres à hauteur de poitrine (DHP) variait de deux à quinze centimètres. On a procédé à une coupe à blanc ou à une coupe partielle et la majorité des arbres abattus étaient d'essences feuillues.

Toute la biomasse récupérée a été expédiée à l'usine de production de carton ondulé de Papiers Cascades à Cabano où une partie a servi à la fabrication de pâte et l'autre à la production d'énergie dans des proportions respectives de 90 % et 10 %.

Les expériences réalisées durant l'automne 1981 ont permis de juger de l'efficacité des équipements choisis en fonction des caractéristiques dendrométriques des peuplements. A partir de ces connaissances, on peut choisir les équipements les mieux adaptés à des sites particuliers ou encore établir des normes minimales pour que la récupération de la biomasse soit économiquement réalisable.

1.2 Simulation de la récolte de la biomasse

La simulation sur ordinateur de l'opération de récolte de la biomasse permet d'étudier la productivité d'un ensemble de machines (débardeuses, déchiqueteuses, camions) dans divers peuplements. En effet, dans une opération comme le déchiquetage en bordure de route où la productivité de chaque phase de l'opération est fortement influencée par la productivité de la phase précédente et de la phase suivante, la simulation est la meilleure technique pour prévoir avec suffisamment d'exactitude la productivité globale d'un groupe de machines. La somme des productivités nominales de chaque machine ne peut pas toujours donner un résultat satisfaisant.

Les renseignements recueillis lors de la phase expérimentale de l'automne 1981 deviennent alors très précieux pour établir les paramètres de productivité des équipements qui seront simulés. La simulation permet d'en faire un usage judicieux pour évaluer des opérations de récolte de biomasse sous des conditions non rencontrées lors de la phase expérimentale ou à l'aide d'un agencement de machines différent de celui essayé.

Le modèle de simulation construit à cet effet est composé de deux modules. Le premier module est un modèle mathématique qui permet de calculer le coût d'opération des équipements d'exploitation et de transport. Il est d'application générale et peut servir à établir le coût d'opération de

tout genre d'équipement. On le décrit en détail au chapitre 2. Il est appelé "module de calcul" dans ce rapport.

Le deuxième module simule l'activité des machines interdépendantes, soit les machines dont la production dépend directement de la phase précédente ou de la phase suivante des opérations. Par exemple, dans le cas de la mise en copeaux en bordure de route, la déchiqueteuse ne peut travailler que s'il y a une semi-remorque sur place puisque les copeaux produits sont lancés par la déchiqueteuse directement dans la semi-remorque. Cette partie du modèle de simulation est appelée "module de simulation" dans le rapport et est décrite au chapitre 3.

Le module de simulation permet d'étudier l'opération de mise en copeaux en bordure de route selon trois modes d'opération décrite ci-dessous.

Dans le premier mode, la déchiqueteuse est mobile, elle se déplace le long d'un empilement d'arbres. Dans ce cas, le débardage est indépendant du déchiquetage et n'est pas simulé. Cette façon d'opérer comporte cependant plusieurs inconvénients. Mentionnons:

- l'utilisation d'un camion-tracteur additionnel pour déplacer la déchiqueteuse;
- une baisse de la productivité à cause de la nécessité de déplacer la déchiqueteuse et la semi-remorque à plusieurs reprises au cours du chargement;
- des frais additionnels de préparation du site à cause de la grande superficie à niveler et quelquefois à graveler pour entreposer la biomasse et permettre le mouvement de la déchiqueteuse et des camions.

Dans les autres cas, la déchiqueteuse est semi-stationnaire et est alimentée par les débardeuses. De cette façon, le débardage, le déchiquetage et le camionnage sont interdépendants. Une trop faible productivité des débardeuses entraîne l'arrêt du déchiquetage faute de biomasse alors

qu'à l'inverse une trop grande productivité du débardage ou une trop faible capacité de camionnage entraîne l'arrêt du débardage faute d'espace pour déposer la biomasse à la portée de la déchiqueteuse.

Le module de simulation permet pour le cas où la déchiqueteuse est semi-stationnaire, de simuler deux variantes d'opération:

- mettre les débardeuses en attente lorsqu'il n'y a plus d'espace à la portée de la déchiqueteuse pour déposer la biomasse;
- plutôt que d'arrêter le débardage, accumuler la biomasse à faible distance de la déchiqueteuse et la remanier par la suite lorsque la déchiqueteuse pourra la recevoir.

Il n'est pas facile à prime abord d'évaluer pour des conditions d'opération spécifiques et pour un choix de machines déterminé, laquelle de ces trois stratégies d'opération est la plus économique. La simulation sur ordinateur permet à un coût relativement faible d'expérimenter les trois méthodes d'opération et d'évaluer les avantages relatifs d'une méthode par rapport à l'autre. Elle permet aussi d'évaluer l'effet de l'addition ou de la soustraction d'une ou de plusieurs machines.

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DU MODULE DE CALCUL

La partie "module de calcul" du modèle de simulation est gardée en mémoire sur ordinateur dans le bloc de travail "CALCULCOUT". L'entrée des données sur ordinateur est interactive et l'on procède en demandant la fonction "CALCOUT"; laquelle nous offre trois choix:

1. LECTURE
2. VÉRIFICATION
3. EXÉCUTION

Au choix de LECTURE, l'ordinateur passe au mode de lecture des données d'entrée et donne les instructions à suivre pour inscrire le contenu des trois formulaires décrits à la section 2.1.

Le choix de VÉRIFICATION commande l'impression des données d'entrée de façon à permettre leur vérification. On procède aux corrections en demandant à nouveau LECTURE et en spécifiant correctement les entrées erronées. Par EXÉCUTION, on commande l'exécution des calculs et l'impression des résultats.

Les trois sections de ce chapitre décrivent et expliquent successivement:

- les données d'entrée;
- les résultats;
- les calculs effectués.

Le programme "CALCULCOUT" est présenté en détail à l'appendice 2.

2.1 Données d'entrée

Trois formulaires permettent la préparation des données d'entrée. Il est recommandé de les compléter avant de passer effectivement à l'entrée de ces données sur ordinateur. Un exemplaire de chacun de ces formulaires est présenté aux pages 9, 12 et 17. Ils portent les en-têtes suivantes:

- renseignements d'application générale (RENG);
- données propres à chaque engin d'exploitation (ENGEX);
- données propres à chaque camion (CAM).

On explique aux sections suivantes, les renseignements à inscrire sur chacun des formulaires; il est recommandé de consulter les formulaires pour faciliter la compréhension.

2.1.1 Renseignements d'application générale (RENG)

Les items mentionnés sur ce formulaire sont soit communs à toutes les machines, comme les taux d'intérêt, ou communs à la majorité des machines, comme le salaire horaire des opérateurs.

Les items portant un "*" peuvent effectivement être spécifiés différemment au dossier propre à chaque machine. Dans ce cas, c'est toujours la valeur mentionnée au dossier de chaque machine qui prévaut. La valeur de la formule "renseignements d'application générale" n'est utilisée que lorsqu'aucune valeur n'est spécifiée au dossier de la machine pour un item donné.

Coûts liés à l'investissement

Le coût d'amortissement de l'équipement peut être établi soit en retenant un coût annuel uniforme, et dans ce cas il faut inscrire "1" à la première ligne de la formule, soit en répartissant la valeur à amortir en annuités comme s'il s'agissait d'un achat-location; dans ce dernier cas, on inscrit "1" à la ligne 2 et on donne aux lignes 3 et 4 la durée du plan d'achat-location en années et le taux d'intérêt. Si aucune méthode n'est spécifiée, c'est-à-dire en entrant "0" aux lignes 1 et 2, le coût de l'amortissement est ignoré dans les calculs.

Dans une méthode comme dans l'autre, on ne déprécie que la différence entre le prix d'achat et la valeur résiduelle de l'équipement qui est spécifiée en % du prix d'achat à la ligne 5.

Le taux d'intérêt applicable à l'investissement moyen est spécifié à la ligne 6. Ce taux sert à calculer le coût du capital dans le cas de

RENSEIGNEMENTS D'APPLICATION GÉNÉRALE (RENG)

COÛTS LIÉS A L'INVESTISSEMENT		
Amortissement annuel uniforme (inscrivez 1 si applicable)	1	
Programme d'achat-location (inscrivez 1 si applicable)	2	
* -Durée du plan d'achat-location en années	3	
-Taux d'intérêt du plan en %	4	
*Valeur résiduelle en % du prix d'achat	5	
Taux d'intérêt applicable à l'investissement moyen en %	6	
SALAIRES, BÉNÉFICES MARGINAUX ET COÛTS DIVERS		
*Salaire horaire des aides-opérateurs en $	7	
*Salaire horaire des opérateurs en $	8	
Salaire horaire des mécaniciens en $	9	
Bénéfices marginaux en % du salaire	10	
*Coût des pièces pour la vie de la machine en % du prix d'achat	11	
Coût horaire du service mécanique en $	12	
Coût du carburant en $ par unité	13	
*Coût annuel des assurances en % du prix d'achat	14	
Nombre d'heures de travail par quart	15	
AUTRES RENSEIGNEMENTS		
Unité de mesure de la production (inscrivez le code approprié) 1 - mètre cube 2 - cunit 3 - corde 4 - P.M.P. 5 - tonne verte 6 - tonne sèche	16	
Unité de mesure des carburants 1 - litre 2 - gallon	17	
Nombre d'engins d'exploitations différents	18	
Nombre de camions différents	19	

* Ces items peuvent être spécifiés différemment pour chaque engin d'exploitation ou pour chaque camion.

l'amortissement uniforme seulement. Dans le cas de la méthode d'achat-location, le coût du capital est incorporé au montant de l'annuité et n'apparaît pas séparément.

Salaires, bénifices marginaux et coûts divers

Le salaire horaire des aides-opérateurs et des opérateurs est spécifié aux lignes 7 et 8. Si le salaire mentionné inclut les bénéfices marginaux ou si l'on ne désire pas tenir compte de ces derniers, on inscrit rien à la ligne 10. Si tel n'est pas le cas, le % de bénéfices marginaux applicables est inscrit à la ligne 10.

La ligne 9 permet d'inscrire le salaire horaire des mécaniciens. Cette valeur n'est pas utilisée dans les calculs puisque le coût est établi en fonction du coût horaire du service récanique qui est donné à la ligne 12. Elle sert cependant de guide pour établir le coût horaire du service mécanique. Le coût horaire du service mécanique doit correspondre au coût moyen que le propriétaire paie pour ses réparations; ce coût moyen peut être considérablement moindre que les tarifs chargés par les garages spécialisés surtout si le propriétaire effectue lui-même une grande partie des réparations.

La ligne 11 permet d'estimer le coût des pièces pour la vie de la machine en fonction du prix d'achat. Ce coût peut être exprimé différemment au dossier propre à chaque machine. Le coût des pneus est incorporé au coût des pièces pour les engins d'exploitation alors qu'il est calculé séparément pour les camions.

Le coût du carburant est donné à la ligne 13 en dollars par unité de mesure (litre ou gallon) laquelle est spécifiée à la ligne 18.

A la ligne 14, on peut estimer le coût annuel des assurances en % du prix d'achat de l'équipement. On peut spécifier le coût des assurances différemment, notamment par une somme annuelle, au dossier de chaque machine.

Le nombre d'heures de travail par quart spécifié à la ligne 15 doit correspondre à la durée moyenne de la journée régulière de travail. Par exemple dans le cas d'une semaine de travail de 40 heures, on inscrit 8 heures même si le nombre d'heures travaillées à chaque jour varie comme suit: 5 heures le lundi, 10 heures les mardi, mercredi et jeudi et 5 heures le vendredi comme c'est souvent le cas en forêt.

Autres renseignements

A la ligne 16, on spécifie par un code l'unité utilisée pour mesurer la production; les codes et leur signification apparaissent sur le formulaire. Tel que déjà mentionné, la ligne 17 sert à spécifier l'unité de mesure les carburants.

Les lignes 18 et 19 servent à préciser respectivement le nombre d'engins d'exploitation et le nombre de camions pour lesquels on désire établir le coût d'opération lors de ce calcul. Il n'existe pas de limite au nombre d'engins d'exploitation ni au nombre de camions qui peuvent être traités en même temps.

2.1.2 Données propres à chaque engin d'exploitation (ENGEX)

Ce formulaire permet d'entrer les données de cinq machines; si le nombre de machines est supérieur, il suffit d'utiliser plusieurs formulaires.

Aux items marqués d'un "*", on entre une valeur seulement si elle diffère de celle inscrite pour le même item sur la formule précédente (RENG).

Identification

La première ligne permet d'entrer un numéro de référence, au choix de l'utilisateur.

La deuxième ligne prévoit l'entrée d'un code de fonction. La version actuelle reconnaît les trois codes suivants:

- 1 pour une débardeuse;
- 2 pour une déchiqueteuse;
- 3 pour un camion.

DONNÉES PROPRES A CHAQUE ENGIN D'EXPLOITATION (ENGEX)

		1	2	3	4	5
	IDENTIFICATION					
1	N° de référence					
2	Code de fonction					
	CARACTÉRISTIQUES					
3	Prix d'achat en 1 000 $					
*4	Valeur résiduelle en %					
*5	Durée du plan d'achat-location					
6	Vie en 1 000 heures productives					
7	Heures prévues/année travail					
8	Taux d'utilisation en %					
	DÉPENSES ANNUELLES					
9	Assurances en $/an					
10	Immatriculation en $/an					
11	Autres dépenses en $/an					
	DÉPENSES COURANTES					
12	Heures réparation/heure prod.					
	Coût des pièces:					
*13	- en % du prix d'achat					
14	- en $/heure productive					
15	- en $/an					
16	Lubrifiants en $/heure prod.					
17	Autres en $/heure prod.					
18	Consommation carburant/ par heure prod.					
	MAIN-D'OEUVRE					
19	Nombre d'aides-opérateurs					
*20	Salaire des aides-opérateurs					
21	Nombre d'opérateurs					
*22	Salaire des opérateurs					
	PRODUCTIVITÉ					
23	Production/heure productive					

* Lorsque la valeur mentionnée pour ces items sur la formule "Renseignements d'application générale" s'applique, ne la répétez pas ici.

Caractéristiques

Les lignes 3, 4, 5 et 6 permettent d'entrer respectivement le prix d'achat, la valeur résiduelle en % du prix d'achat, la durée du plan d'achat-location lorsqu'applicable et la vie escomptée de l'engin d'exploitation en 1 000 heures productives.

A la ligne 7, on inscrit les heures de travail prévues par année pour ce type d'équipement. Par exemple, si l'on prévoit une période d'opération de 42 semaines à raison d'un horaire de travail de 40 heures par semaine, on inscrit 1 680. Il faut aussi tenir compte des heures de travail du même équipement à d'autres opérations au cours de la même année. Par exemple, si un tracteur agricole est utilisé 200 heures par année pour une opération de récolte de biomasse et 900 heures pour des travaux agricoles, on doit inscrire le total des deux, soit 1 100 heures.

Le taux d'utilisation, soit le nombre d'heures productives par rapport au nombre d'heures de travail, est inscrit à la ligne 8.

Dépenses annuelles

Il s'agit de dépenses qui ne sont encourues qu'une fois par année, qui varient généralement peu d'une année à l'autre, et dont le coût ne dépend pas du nombre d'heures d'opération de l'équipement. On retrouve le coût annuel des assurances à la ligne 9, le coût d'immatriculation à la ligne 10 et un regroupement d'autres dépenses à la ligne 11.

On peut regrouper sous "autres dépenses" les frais d'entreposage de l'engin au cours de la saison morte, le coût d'inventaire des pièces de rechange, le coût des outils spéciaux pour l'entretien, les frais de comptabilité, etc.

Dépenses courantes

Les dépenses courantes sont celles qui dépendent directement du nombre d'heures d'opération de l'engin d'exploitation.

A la ligne 12, on inscrit les heures de réparation par heure productive. La valeur à inscrire pour ce facteur doit refléter la moyenne pour la vie de l'équipement. A ce titre, il ne faut pas se baser uniquement sur les heures de réparation par semaine ou par mois de travail, mais aussi considérer les révisions mécaniques annuelles et les réparations majeures qui reviennent à quelques reprises au cours de la vie d'une machine. Le nombre d'heures de réparation encourues au cours de la troisième ou de la quatrième année d'utilisation d'une machine est généralement un bon guide. On applique à ce temps le coût du service mécanique donné au formulaire précédent; il est donc important que le temps compté corresponde bien au temps payé d'après le taux déclaré. Il faut noter que le temps consacré quotidiennement par l'opérateur pour l'entretien de sa machine et l'exécution des réparations mineures ne doit pas être compté puisque celui-ci est déjà rémunéré à titre d'opérateur.

Les lignes 13, 14 et 15 offrent trois façons d'exprimer le coût des pièces, soit en % du prix d'achat, en dollars par heure productive ou en dollars par année. L'utilisateur choisit la méthode qui lui convient le mieux. Si rien n'est spécifié à ces lignes, le coût des pièces sera calculé en fonction du prix d'achat de la machine d'après le taux spécifié au formulaire "renseignements d'application générale (ligne 11)".

Le coût des lubrifiants par heure productive est entré à la ligne 16 tandis que la ligne 17 permet d'entrer d'autres dépenses comptabilisées sur une base d'heures productives.

La consommation de carburant par heure productive est entrée à la ligne 18. Cette consommation doit être exprimée en litres ou en gallons selon le choix de l'unité de mesure fait au formulaire précédent (RENG, ligne 17).

Main-d'oeuvre

Cette section permet de spécifier le nombre d'aides-opérateurs et d'opérateurs requis pour l'opération de cet engin d'exploitation ainsi que

leur salaire respectif. Dans le cas d'une équipe d'abattage et de débardage comprenant deux abatteurs, les abatteurs peuvent être assimilés à des aides-opérateurs dans le calcul du coût d'opération de la débardeuse de façon à obtenir le coût d'abattage-débardage.

Productivité

On entre à la ligne 23 la productivité moyenne correspondant aux conditions d'opération pour lesquelles on désire établir le coût de l'engin à l'étude. La productivité est donnée par heure productive et est spécifiée dans l'unité de mesure choisie à la ligne 16 du formulaire "renseignements d'application générale".

2.1.3 Données propres à chaque camion (CAM)

Ce formulaire permet d'inscrire les données de quatre camions de modèles différents, soit un par colonne. Si le nombre de camions est plus élevé, on utilise des formulaires additionnels.

Les dix-sept premiers items de ce formulaire sont identiques à ceux du formulaire "données propres à chaque engin d'exploitation"; ils ne sont donc pas réexpliqués ici.

Dépenses courantes

Ce groupe commence à la ligne 18, qui permet d'inscrire la distance parcourue par litre ou par gallon de carburant. La distance doit être donnée en kilomètres si l'on utilise le système métrique; dans le cas contraire, elle est indiquée en milles.

Les lignes 19, 20 et 21 permettent de calculer le coût des pneus. Il faut spécifier à la ligne 19 le nombre total de pneus du camion et de sa remorque s'il y a lieu, à la ligne 20 le coût d'un pneu et à la ligne 21 la vie moyenne des pneus en 1 000 unités de distance (km ou mille).

Le salaire de l'opérateur est donnée à la ligne 22.

DONNÉES PROPRES A CHAQUE CAMION (CAM)

	1	2	3	4
IDENTIFICATION				
1 N° de référence				
2 Code de fonction				
CARACTÉRISTIQUES				
3 Prix d'achat en 1 000 $				
*4 Valeur résiduelle en %				
*5 Durée du plan d'achat-location				
6 Vie en 1000 heures productives				
7 Heures prévues/année travail				
8 Taux d'utilisation en %				
DÉPENSES ANNUELLES				
*9 Assurances en $/an				
10 Immatriculation en $/an				
11 Autres dépenses en $/an				
DÉPENSES COURANTES				
12 Heures réparation/h. prod.				
Coût des pièces:				
*13 - en % du prix d'acha				
14 - en $/heure productive				
15 - en $/an				
16 Lubrifiants en $/heure productive				
17 Autres en $/heure productive				
18 Distance par unité de carburant				
19 Pneus par véhicule				
20 Coût d'un pneu				
21 Vie d'un pneu en 1 000 unités distance				
*22 Salaire de l'opérateur				
PRODUCTIVITÉ				
23 Charge/voyage				
24 Distance de livraison (aller)				
25 Vitesse moyenne				
26 Temps chargement et déchargement, heure				

* Lorsque la valeur mentionnée pour ces items sur la formule "Renseignements d'application générale" s'applique, ne la répétez pas ici.

Productivité

Contrairement aux engins d'exploitation, la productivité n'est pas entrée directement mais est calculée, aux lignes 23, 24, 25 et 26, à partir des valeurs d'entrées.

On spécifie à la ligne 23 la charge moyenne par voyage dans l'unité de mesure choisie à la ligne 16 du formulaire "renseignements d'application générale".

La distance de livraison, soit la distance entre le lieu de chargement et le lieu de déchargement, est spécifiée à la ligne 24.

La ligne 25 permet d'entrer la vitesse moyenne maintenue par le camion au cours du voyage aller et retour, celle-ci étant exprimée en kilomètres ou en milles parcourus par heure selon le système de mesure choisi.

Finalement, on inscrit à la ligne 26 le temps de chargement et de déchargement du camion par cycle de livraison. Ce temps est donné en heures.

2.2 Résultats produits par le module de calcul

Les résultats du module de calcul sont présentés sur un tableau appelé "coût d'opération de l'équipement" dont un exemplaire est présenté à la page 18 et qui comporte sept sections, respectivement intitulées:

- identification;
- dépenses annuelles ($/jour);
- dépenses courantes ($/heure productive);
- dépenses de main-d'oeuvre;
- total des dépenses;
- productivité;
- coût par unité de production (l'unité de production est la tonne verte dans l'exemple de la page 18).

Chaque item du tableau étant bien identifié, aucune autre explication ne sera ajoutée.

C O U T D'O P E R A T I O N D E L'E Q U I P E M E N T

IDENTIFICATION

NO REFERENCE	1	2	3	4
FONCTION	DEBARD	DEBARD	DECHIQ	CAMION
HEURES PREVUES/ANNEE	1800	1800	1800	2000
TAUX UTILISATION (o/o)	80	85	65	85
PRIX D'ACHAT EN 1000$	60	40	250	80
CAPITAL MOYEN EN 1000$	42	28	171	56

DEPENSES ANNUELLES ($/JOUR)

AMORTISSEMENT	26.25	17.50	87.50	35.87
COUT DU CAPITAL	31.22	20.81	128.44	37.67
ASSURANCES ET AUTRES	14.00	11.00	47.50	29.15
TOTAL EN $/JOUR	71.47	49.31	263.44	102.69
TOTAL EN $/H.PRO.	9.93	6.45	45.03	13.42

DEPENSES COURANTES ($/HEURE PRODUCTIVE)

SERVICE MECANIQUE	2.25	1.80	2.25	2.25
PIECES	5.00	3.33	20.83	6.67
PNEUS				3.59
CARBURANT	4.05	4.05	20.25	8.56
AUTRES	1.50	1.00	4.00	1.00
TOTAL EN $/H.PRO.	12.80	10.18	47.33	22.07

DEPENSES DE MAIN D'OEUVRE

EN $/JOUR	98.82	98.82	186.66	98.82
EN $/HEURE PRODUCTIVE	13.72	12.92	31.91	12.92

TOTAL DES DEPENSES

EN $/JOUR	262.45	226.03	727.00	370.31
EN $/HEURE PRODUCTIVE	36.45	29.55	124.27	48.41

PRODUCTIVITE

T V /JOUR	50.40	38.25	140.40	77.62
T V /HEURE PRODUCTIVE	7.00	5.00	24.00	10.15

COUT PAR TONNE VERTE

MACHINES				
DEP. ANNUELLES	1.42	1.29	1.88	1.32
DEP. COURANTES	1.83	2.04	1.97	2.17
SOUS-TOTAL	3.25	3.33	3.85	3.50
MAIN D'OEUVRE	1.96	2.58	1.33	1.27
TOTAL	5.21	5.91	5.18	4.77

2.3 Explication des calculs

Nous expliquons ici certains des calculs effectués pour produire le tableau "coût d'opération de l'équipement"; les items ne prêtant pas à confusion ne sont pas expliqués.

Capital moyen en 1 000 $

Cet item est une estimation du capital moyen investi au cours de la vie de la machine. En pratique, le capital investi est égal au prix d'achat au moment de l'acquisition et diminue chaque année de la valeur de l'amortissement jusqu'à atteindre la valeur résiduelle. La formule ci-dessous, en usage depuis de nombreuses années dans l'industrie forestière, est employée pour calculer le capital moyen:

$$\text{capital moyen} = \frac{[\text{prix achat} \times (\text{vie} + 1)] + [\text{val. rés.} \times (\text{vie} - 1)]}{2 \times \text{vie}},$$

où vie est le nombre d'années d'utilisation prévu pour la machine.

Amortissement

Le coût de l'amortissement est exprimé en $/jour. Le nombre de jours de travail par an est le résultat de la division des "heures prévues/année" par le "nombre d'heures de travail par quart". Il se peut donc, pour une machine utilisée de jour et de nuit, que le nombre de jours de travail soit supérieur à 365.

Dans le cas où le coût de la machine est amorti uniformément, l'amortissement annuel est calculé comme suit:

$$\text{amortissement annuel} = \frac{\text{prix achat} - \text{valeur résiduelle}}{\text{vie}}$$

Dans le cas où la dépense d'amortissement est assimilée à une annuité (achat-location), l'amortissement annuel est calculé comme suit:

$$\text{amortissement annuel} = (\text{prix d'achat} - \text{valeur résiduelle}) \times \frac{i\,(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

où i = taux d'intérêt

n = durée du plan d'achat-location en années.

Coût du capital

Cet item est un coût qui représente le manque à gagner du capital moyen investi dans la machine. En effet, si l'argent ayant servi à l'achat de la machine avait été investi en obligations ou autrement, il aurait rapporté de l'intérêt. On doit donc tenir compte de ce manque à gagner dans le calcul du coût d'utilisation d'une machine.

On calcule le coût du capital en appliquant le taux d'intérêt spécifié à la ligne 6 du formulaire "renseignements d'application générale" au "capital moyen" calculé précédemment. Ce coût n'est cependant calculé que dans le cas où la valeur de la machine est amortie uniformément car la formule de l'annuité (achat-location) tient compte du coût du capital.

Service mécanique

Cet item couvre le coût de la main-d'oeuvre affectée à la réparation de la machine. Il est obtenu en multipliant le nombre "d'heures de réparation par heure productive" par le "coût horaire du service mécanique".

Dépenses de main-d'oeuvre

Les dépenses de main-d'oeuvre par jour ou par heure productive sont calculées d'après les salaires horaires des aides-opérateurs et des opérateurs auxquels on ajoute les bénéfices marginaux.

Productivité

La productivité pour les camions s'exprime en unités de production (tonnes vertes, mètres cubes, etc.) transportées d'un endroit à l'autre, par jour ou par heure productive. Elle diminue avec l'augmentation de la distance de livraison.

On l'obtient en divisant la charge par voyage par le temps productif requis pour livrer un voyage. Le temps productif est la somme des temps de chargement, de déchargement, de transport à vide et en charge.

Il est à remarquer que l'on ne fait aucun ajustement pour arrondir à l'unité le nombre de voyages livrés par jour ou pour tenir compte du temps perdu en fin de journée lorsque le dernier voyage est complété avant la fin de la journée. En réalité, ces ajustements sont faits au moment de la spécification du taux d'utilisation des camions qui doit réfléter toutes les pertes de temps. On n'a donc pas à les considérer à nouveau dans le calcul de la productivité par jour ou par heure productive. D'autre part, même si chaque jour, un camion livre un nombre entier de voyages, le nombre moyen de voyages livrés après plusieurs jours est rarement entier.

2.4 Conclusions

Tel que le montre le tableau "coût d'opération de l'équipement", le module de calcul n'est qu'un modèle mathématique permettant d'exprimer sous diverses formes, le coût d'opération d'un engin forestier ou d'un camion. Avec les formulaires d'entrée, il constitue une méthode bien définie et simple d'établir les coûts de production d'une pièce d'équipement.

Les résultats qu'il fournit permettent une première comparaison de machines similaires. Ils fournissent aussi les valeurs à utiliser au niveau des dépenses annuelles et des coûts d'opération pour les machines dont on désire simuler l'activité.

Le module de simulation permet d'estimer les taux d'utilisation des machines en tenant compte de leur interrelation. Si ceux-ci s'avèrent différents de ceux employés dans le module de calcul, il y a lieu de les réviser et de réexécuter le module de calcul.

CHAPITRE 3

DESCRIPTION DU MODULE DE SIMULATION

Ce chapitre explique le mode de fonctionnement du module de simulation, la marche à suivre pour l'utilisation et les tableaux qu'il produit. On traite également du rôle que peut jouer la simulation pour diagnostiquer les faiblesses d'une opération et vérifier l'effet des correctifs proposés sur l'ensemble du système.

3.1 Caractéristiques du module de simulation

Le module de simulation développé pour l'étude de la mise en copeaux de la biomasse procède par événement, c'est-à-dire qu'à la réalisation d'un événement, l'arrivée d'un camion au site de déchiquetage par exemple, le modèle examine toutes les conséquences de cet événement et génère les activités qui en découlent, compte tenu de l'occupation actuelle de toutes les machines du système de production à l'étude. Lorsque cette étape est complétée, la simulation avance à la réalisation du prochain événement et génère les activités qui en découlent. Ce processus est répété jusqu'à ce qu'une journée complète de travail ait été simulée. On procède par la suite à la simulation de la journée suivante jusqu'à ce que l'on ait atteint le nombre de jours désirés.

A titre d'exemple, considérons la réalisation de l'événement "arrivée d'une débardeuse à la déchiqueteuse". L'endroit où la débardeuse déposera son bois ainsi que sa prochaine activité dépendent de ce qui se passe actuellement au site de déchiquetage. Pour les fins de cet exemple, ce qui se passe au site de déchiquetage peut être caractérisé de plusieurs façons:

1. la déchiqueteuse procède au chargement d'un camion;
2. la déchiqueteuse attend du bois pour procéder au chargement d'un camion (il y a un camion sur place);
3. la déchiqueteuse ne peut effectuer du déchiquetage présentement pour une des raisons suivantes:

- on est en train de changer les couteaux de la déchiqueteuse ou de la réparer;
- il n'y a pas de camion au site de déchiquetage;
- la journée est terminée.

Dans le premier cas (la déchiqueteuse est au travail), la débardeuse déposera son bois près de la déchiqueteuse et retournera en forêt chercher un autre voyage ou encore, elle approchera du bois entreposé près de la déchiqueteuse si les conditions spécifiées pour cette opération sont satisfaites.

Dans le deuxième cas (la déchiqueteuse est en attente), la débardeuse agira comme dans le premier cas mais en plus, la déchiqueteuse se remettra au travail.

Dans le troisième cas (la déchiqueteuse ne peut procéder au déchiquetage), la débardeuse déposera son bois près de la déchiqueteuse s'il y a suffisamment de place, sinon elle sera mise en attente ou déposera son bois à un empilement de réserve à faible distance et retournera en forêt.

Comme toutes ces situations et ces événements sont exclusifs, la simulation par une série de tests appropriés identifie la voie à suivre et génère les activités qui en découlent. Notons que chaque activité générée aboutit nécessairement à la réalisation d'un événement.

Les événements contenus dans le module de simulation sont énumérés ci-dessous avec mention entre parenthèses du nom du sous-programme qui effectue les tests requis et qui génère les activités qui en découlent:

- mise en marche de l'opération au début de la journée (DEBUT);
- arrivée d'une débardeuse à la déchiqueteuse (DEBAR);
- arrivée d'une débardeuse avec une charge provenant de l'empilement de réserve (APPROCHE);

- fin du bris d'une débardeuse (BRDEBAR);
- fin du déchiquetage d'une quantité de biomasse (DECHI);
- fin du changement des couteaux de la déchiqueteuse (CHGCOU);
- fin du bris de la déchiqueteuse (BRDECHI);
- arrivée d'un camion au site de déchiquetage (ARCAM).

C'est le sous-programme "REAL" (réalisation) qui contrôle la réalisation des événements dans leur ordre chronologique et qui commande l'usage du sous-programme d'événements appropriés.

3.2 Mode d'utilisation du module de simulation

Le module de simulation est en mémoire sur ordinateur dans le bloc de travail "SIMULATION". L'entrée des données et l'exécution de la simulation sont interactives; on met le processus en branle par la fonction "SIMULE" laquelle offre les choix suivants:

1. LECTURE
2. VERIFICATION
3. CORRECTION
4. DEBUT
5. FIN

En répondant 1, on choisit le mode LECTURE et l'ordinateur donne successivement les instructions nécessaires pour entrer les données, formulaire par formulaire.

Le choix de VERIFICATION entraîne l'impression des données en mémoire afin de les comparer à celles des formulaires. La procédure pour effectuer les corrections, s'il y a lieu, est obtenue par le choix de CORRECTION. La simulation elle-même est lancée par DEBUT tandis que FIN met fin à l'exécution de "SIMULE".

On a créé des formulaires pour préparer les données à l'avance et faciliter leur entrée sans erreur sur l'ordinateur. La prochaine section

de ce chapitre décrit le contenu de ces formulaires en détail. Les données nécessaires peuvent être classées en quatre groupes comme suit:

- un groupe de renseignements descriptifs qui identifient le mode d'opération des équipements, les modèles de machine et la description du peuplement et du site où se déroule la simulation;
- le deuxième groupe permet d'indiquer les caractéristiques spécifiques à cette simulation, tels le nombre de jours simulés, la durée de la journée de travail, la quantité de biomasse qui peut être entreposée à portée de la déchiqueteuse, etc.;
- un groupe de renseignements sur les caractéristiques d'opération de chaque machine tels la fréquence des bris, la capacité de chargement, les coûts d'opération, etc.;
- le dernier groupe de données permet de spécifier la durée des activités. La durée de chaque activité peut être spécifiée par une valeur correspondant à sa durée moyenne ou elle peut être déterminée au hasard à partir d'une population de données et selon des règles de probabilité précises. Dans le premier cas, la durée de réalisation de l'activité sera toujours la même au cours de la simulation tandis que, dans le second cas, chaque réalisation sera de durée différente.

En suivant les instructions données par l'ordinateur, la simulation est mise en route et s'arrête lorsque le nombre de jours à simuler est atteint. Quatre types de rapports peuvent être produits:

- un rapport sur la trace qui permet de suivre l'activité de chaque machine au cours d'une journée de simulation. Ce rapport sert de vérification à la bonne marche de la simulation et permet de constater ce qui se passe tout comme si l'on observait l'opération en forêt. Il est généralement suffisant d'imprimer ce rapport pour une journée de simulation;
- un rapport sur l'occupation des machines qui montre la répartition de la journée de travail de chaque machine par élément productif et improductif ainsi que les taux d'utilisation et de disponibilité.

Il montre en plus la production réalisée par type d'activité et le coût total de la journée. Ce rapport est présenté pour les journées de simulation choisies et pour tous les jours simulés;

- un rapport sur la ventilation des coûts qui montre la répartition des coûts entre la main-d'oeuvre, les dépenses de propriété (fixes) et les dépenses d'opération des machines. Il montre également la ventilation des coûts par unité produite et par type d'activité. Tout comme le tableau précédent, il est présenté pour des journées choisies et pour tous les jours simulés;
- le dernier rapport présente des statistiques de production. Il montre pour des variables choisies le nombre d'observations, la moyenne, l'écart-type et les valeurs minimales et maximales. Ce rapport est présenté une fois par simulation.

La section 3.4 explique en détail le contenu de chacun de ces rapports et en donne des exemples.

L'ensemble de ces rapports permet de poser un diagnostic sur l'opération simulée. Par exemple, le tableau sur l'occupation des machines peut révéler que la déchiqueteuse n'effectue du déchiquetage que 42 % du temps total et qu'elle passe 34 % de son temps à attendre un camion. Dans ce cas, il y a lieu de considérer l'addition d'un camion et de reprendre la simulation. Les temps d'attente de la déchiqueteuse diminueront sûrement mais ceux des camions augmenteront probablement alors que les débardeuses ne suffiront peut-être plus à la tâche. L'examen des nouveaux tableaux d'occupation des machines et de ventilation des coûts permettra de constater l'effet de l'addition d'un camion et de vérifier si un plus grand taux d'occupation de la déchiqueteuse entraîne une baisse des coûts. Il y aura sans doute lieu d'apporter d'autres modifications au nombre de machines à l'essai et de reprendre à nouveau la simulation.

C'est par simulations successives et en tenant compte de l'effet des changements expérimentés que l'étude par simulation d'une opération permet d'identifier le ou les modes d'opération qui sont les plus avantageux au niveau de la productivité ou du coût de revient.

3.3 Description des formulaires d'entrée

Il y a quatre formulaires d'entrée intitulés comme suit:

- description de l'opération simulée et des variables du milieu
- caractéristiques de cette simulation;
- données pour chaque machine;
- durée des activités en minutes.

Un modèle de chaque formulaire est présenté aux pages 29, 32, 35 et 40. Cette section décrit et explique les renseignements à inscrire ainsi que la façon de les transmettre à l'ordinateur.

Description de l'opération simulée et des variables du milieu

L'entrée des données de ce formulaire sur l'ordinateur s'effectue en spécifiant le code approprié à la première question posée par la fonction LECTURE, soit le code 1.

L'ordinateur par la suite pose une question pour chaque item à entrer en suivant l'ordre du formulaire. Nous présentons ci-dessous les particularités propres à chaque renseignement à transmettre.

Le premier item à spécifier est l'identification du projet auquel se réfère l'étude de simulation. Suit l'identification de la simulation, laquelle peut être une simple énumération ou une description sommaire de ce qui est simulé (30 caractères). La date vient compléter ce groupe de renseignements.

La question suivante concerne le mode d'opération de cette simulation. Ce dernier est spécifié par un code tel qu'expliqué au formulaire. Le code 1 correspond au cas où la déchiqueteuse s'alimente à partir d'empilements le long de la route. Dans ce cas, le débardage est indépendant du déchiquetage et n'est pas simulé; d'ailleurs aucune débardeuse ne sera indiquée au tableau sur les machines.

PROJET:_____ SIMULATION_____ DATE:_____

DESCRIPTION DE L'OPÉRATION SIMULÉE ET DES VARIABLES DU MILIEU

MODE D'OPÉRATION DE CETTE SIMULATION (inscrivez le code approprié):_____

1. La déchiqueteuse s'alimente à partir d'empilements le long de la route.
2. Les débardeuses attendent lorsque le bois ne peut être déposé à portée de la déchiqueteuse.
3. Les débardeuses accumulent le bois près du site de déchiquetage lorsqu'il ne peut être déposé directement à la déchiqueteuse.

NOMBRE DE MODÈLES DE DÉBARDEUSE : _____

Description des débardeuses de modèle 1:_____

Description des débardeuses de modèle 2:_____

Description des débardeuses de modèle 3:_____

NOMBRE DE MODÈLES DE CAMION :

Description des camions de modèle 1:_____

Description des camions de modèle 2:_____

Description des camions de modèle 3:_____

DESCRIPTION DE LA DÉCHIQUETEUSE:_____

DESCRIPTION DU PEUPLEMENT ET DU SITE D'OPÉRATION :

Peuplement:_____

Type de coupe:_____

Nombre de tiges récoltées à l'hectare:_____

Volume ou masse récolté à l'hectare:_____

Caractéristiques du terrain: -pente en %_____

-nature du sol_____

-drainage_____

Distance de livraison des copeaux:_____ km

Le code 2 correspond à une opération où les débardeuses sont mises en attente lorsqu'elles ne peuvent déposer leur charge à la portée de la déchiqueteuse faute de place. Ici, comme dans le prochain cas, le modèle simule le débardage, le déchiquetage et le transport par camion.

Le code 3 s'applique lorsque les débardeuses accumulent le bois près du site de déchiquetage s'il ne peut être déposé directement à la déchiqueteuse. Ce mode d'opération oblige un remaniement ultérieur de ce bois pour l'amener à la portée de la déchiqueteuse. Le remaniement a lieu lorsque la réserve de bois à la portée de la déchiqueteuse est faible; cette quantité est spécifiée au prochain formulaire. Il n'y a jamais plus d'une débardeuse affectée au remaniement.

Le nombre de modèles de débardeuses et leur description font l'objet des prochaines questions. Généralement, on désignera comme des modèles différents des débardeuses comportant des différences au niveau de la productivité, du coût d'opération ou de la capacité de charge. Le fait cependant de déclarer de modèles différents deux machines identiques n'entraîne aucune erreur mais oblige au tableau "durée des activités" de décrire la durée des activités de chaque modèle et donc de répéter les données puisqu'il s'agit en réalité de machines identiques.

De la même façon, on spécifie par la suite le nombre de modèles de camions et on décrit chacun des modèles. Finalement, on décrit la déchiqueteuse utilisée.

La dernière section permet de décrire le peuplement et le site d'opération correspondant aux productivités utilisées dans la simulation. Ces renseignements sont présentés uniquement à titre descriptif et n'affectent aucunement le déroulement de la simulation.

Caractéristiques de cette simulation

Ce formulaire permet d'inscrire la valeur d'une série de variables nécessaires au déroulement de la simulation. A chaque item, on a inscrit

entre parenthèses le nom de la variable correspondante du programme de simulation. En cas d'erreur, il suffit de spécifier la variable concernée correctement. Par exemple, si on désire changer le nombre de jours à simuler de 3 à 5, on inscrit:

NJAS ←5

A la première ligne, on spécifie le nombre de jours à simuler. Il est conseillé pour un premier essai de ne simuler que quelques jours. Ceci peut être suffisant pour déceler des problèmes majeurs et justifier certains changements avant de procéder à un nombre élevé de simulations.

La deuxième ligne permet de spécifier les jours pour lesquels on désire un rapport quotidien. Le rapport quotidien comprend deux tableaux, un sur l'occupation des machines et un sur la ventilation de coûts. Il n'existe aucune restriction sur les jours que l'on désire spécifier. Ces derniers peuvent d'autre part être consécutifs ou non. Il est recommandé de demander un rapport quotidien au moins pour le premier jour.

A la troisième ligne, on spécifie les jours pour lesquels on désire la trace des activités. Cette trace permet de suivre le mouvement de toutes les machines au cours de la journée. Elle est utilisée à deux fins; d'abord au moment de la mise au point du modèle de simulation, pour s'assurer que la logique de la simulation épouse bien la réalité et ensuite, à chaque simulation, elle offre l'opportunité de visualiser en détail ce qui se produit. Il est recommandé d'y avoir recours chaque fois que les résultats quotidiens apparaissent étonnants.

Ces trois premiers items définissent donc la durée de la simulation et précisent les rapports qui sont produits.

L'entrée suivante permet de spécifier par un code l'unité de mesure de la biomasse, soit l'unité utilisée pour mesurer la capacité de charge et la productivité des équipements. Le formulaire indique les six codes utilisables. Les lignes suivantes touchent des variables dont la

CARACTÉRISTIQUES DE CETTE SIMULATION

Nombre de jours à simuler (NJAS); _____

Un rapport quotidien sera présenté pour les jours (IMPRQ): _____

La trace des activités sera présentée pour les jours (TRAJR): _____

L'unité de mesure de la biomasse est (inscrivez le code approprié): _____

1- Mètre cube 2- Cunits 3- Corde

4- P.M.P. 5- Tonne verte 6- Tonne anhydre

Quantité maximale de biomasse qui peut être placée à portée de la déchiqueteuse (BIOMAX): _____

Une débardeuse approchera du bois si la quantité de biomasse à portée de la déchiqueteuse est moindre que (BIOAP): _____

Quantité de biomasse à portée de la déchiqueteuse au début de la simulation (BIOD): _____

Quantité de biomasse entreposée au site de déchiquetage au début de la simulation (BIOR): _____

Nombre de camions qui peuvent être chargés par la déchiqueteuse sans devoir changer les couteaux (INTCOUN): _____

Durée de la journée de travail en minutes (JOUR): _____

Prime pour le travail en temps supplémentaire en % du salaire de base (PRIME): _____

Bénéfices marginaux en % du salaire de base (BENMARG): _____

valeur est requise pour le déroulement de la simulation, on y rencontre successivement:

- la quantité de biomasse qui peut être placée à portée de la déchiqueteuse (BIOMAX); il faut remarquer que si la déchiqueteuse se déplace le long d'un empilement de bois (mode d'opération de code 1), cette variable n'a plus sa raison d'être et, en fait, la procédure d'entrée des données l'évite;
- le niveau de biomasse à portée de la déchiqueteuse (BIOAP) au-dessous duquel on affecte une débardeuse au remaniement du bois entreposé près de la déchiqueteuse (mode d'opération 3). On sautera cette question lorsque les modes d'opération 1 ou 2 sont choisis puisque ces derniers ne prévoient aucun remaniement. La débardeuse affectée au remaniement poursuit cette tâche tant que le déchiquetage est en cours ou que le niveau de biomasse à portée de la déchiqueteuse est inférieur à la quantité maximale (BIOMAX) et à condition qu'il y ait du bois à remanier;
- la quantité de biomasse à portée de la déchiqueteuse au début de la simulation (BIOD); cette variable précise la situation au début de la simulation. Dans le cas où la déchiqueteuse se déplace le long d'un empilement (mode d'opération 1), cette variable (BIOD) est spécifiée à 100 000 par le programme et la question correspondante n'apparaît pas à l'entrée des données;
- le nombre de camions qui peuvent être chargés par la déchiqueteuse sans devoir changer les couteaux (INTCOUN);
- la durée de la journée de travail en minutes (JOUR); cette variable permet de calculer le travail effectué en temps supplémentaire et de mettre fin à la journée de travail en certaines circonstances;
- la prime pour le travail en temps supplémentaire exprimée en % du salaire de base (PRIME); par exemple si le travail en temps supplémentaire est rémunéré à temps et demi, la prime est de 50%. Il est à remarquer que les bénéfices marginaux ne sont pas ajoutés au coût du travail en temps supplémentaire;
- le dernier item permet de spécifier le coût des bénéfices marginaux en % du salaire de base (BENMARG). Si le salaire spécifié inclut

les bénéfices marginaux ou si on ne désire pas les considérer, on inscrit 0 à cette ligne.

Données pour chaque machine

Contrairement aux deux formulaires précédents, celui-ci se présente sous forme de tableau où chaque ligne correspond à une machine. Il faut inscrire toutes les machines impliquées dans l'opération simulée. Toutefois, il est bon de rappeler que si la déchiqueteuse s'alimente à partir d'un empilement d'arbres, le débardage n'est pas simulé et on ne doit entrer aucune débardeuse à ce tableau; dans ce cas, le coût du débardage est calculé à l'aide du module de calcul.

Nous expliquons, aux paragraphes suivants, les renseignements à inscrire à chaque colonne.

Les deux premières colonnes sont intitulées "MACHINE" et servent à spécifier le code de fonction de la machine et l'identification du modèle. Les codes de fonction sont les mêmes que pour le modèle de calcul soit:

1. débardeuse;
2. déchiqueteuse;
3. camion.

L'identification du modèle se fait par une numérotation commençant à 1 pour chaque type de machine. La numérotation correspond aux descriptions des modèles données au formulaire "Description de l'opération simulée et des variables du milieu".

La colonne suivante est intitulée "Heure au début journée"; il ne s'agit pas de l'heure réelle mais du temps relatif en minutes entre le début du quart de chaque machine. Si toutes les machines commençaient à travailler à la même heure, on pourrait inscrire 0 à toutes les entrées de cette colonne ou n'importe quelle autre valeur inférieure à 4 000. En pratique, les camions impliqués dans l'opération commencent tous leur journée de travail à un moment différent et le premier commence généralement de 30 à 60

DONNÉES POUR CHAQUE MACHINE (ENTRE)

	MACHINE		Heure au début journée	Nb. bris par 1000 cycles	Charge par voyage	**	COÛTS DES MACHINES				Salaire Opérateur
							COÛTS Propriété	COÛTS D'OPÉRATION			
	Fonction	Modèle						Act.A	Act.B	Act.C	
			(min.)				($/jour)	($/h.prod.)	($/h.prod.)	($/h.prod.)	($/heure)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

** Débardeuses: inscrivez 1 pour les débardeuses qui peuvent être affectées lors de l'approche.

Déchiqueteuse: colonne non utilisée.

Camions: temps minimum requis à la fin de la journée pour accomplir un voyage additionnel, en minutes.

Code fonction: 1-Débardeuse 2-Déchiqueteuse 3-Camion

	ACTIVITÉ A	ACTIVITÉ B	ACTIVITÉ C
Débardeuse	Débardage de la souche à la déchiqueteuse	Débardage de la souche à une aire d'entreposage près de la déchiqueteuse	Remaniement du bois de l'aire d'entreposage à la déchiqueteuse
Déchiqueteuse	Déchiquetage	Changement de couteaux	Ne s'applique pas
Camion	Chargement	Livraison et déchargement	Ne s'applique pas

minutes avant la déchiqueteuse et les débardeuses afin d'avoir le temps de se rendre au site de déchiquetage. On donne généralement la valeur 0 à la machine qui commence à travailler le plus tôt et on spécifie l'heure applicable aux autres en conséquence. On ne doit pas utiliser de valeurs négatives.

La colonne "Nb. bris par 1 000 cycles" sert à générer des bris au hasard au cours de la simulation. Les bris sont générés selon la probabilité spécifiée à cette colonne; par exemple si l'on spécifie 50 pour un camion, la probabilité d'avoir un bris à chaque livraison d'un voyage (un cycle de travail) est de 0,05 (50/1 000); après la simulation de 1 000 voyages, on devrait avoir subi 50 bris en moyenne.

Il existe très peu de tables de référence pour guider l'utilisateur sur la valeur à inscrire à cette colonne; son expérience avec le type de machine entrant dans la simulation est son meilleur guide. Si après quelques essais, il constate que le nombre de bris générés diffère trop de la réalité, il devra en ajuster la fréquence en diminuant la valeur si les bris sont trop fréquents ou en l'augmentant dans le cas contraire.

Il faut garder à l'esprit que la fréquence des bris est spécifiée par 1 000 cycles de travail et que la durée du cycle de travail varie avec chaque machine; plus le cycle est court, plus on s'attend à une fréquence faible. Dans le cas de la déchiqueteuse, un cycle d'opération correspond au chargement d'un camion.

La colonne "Charge par voyage" permet d'indiquer la capacité de charge de chaque machine dans l'unité (mètre cube, tonne verte, etc.) spécifiée au formulaire "Caractéristiques de cette simulation". La déchiqueteuse n'étant pas une machine de transport, puisqu'elle ne porte aucune charge, on inscrit 0 à cette colonne.

La colonne identifiée par "**" n'a pas la même signification pour toutes les machines tel que noté sur le formulaire. Pour les débardeuses,

elle sert à identifier les machines qui peuvent être affectées lors de l'approche du bois entreposé au site de déchiquetage; on inscrit 1 à celles qui peuvent accomplir cette tâche et 0 aux autres. Cette colonne n'a pas de signification pour la déchiqueteuse, il faut cependant quand même y spécifier une valeur au moment de l'entrée des données.

Dans le cas des camions, la colonne "**" permet de spécifier le minimum de temps requis à la fin de la journée pour accomplir un voyage additionnel. Ce temps est mesuré par rapport à la fin de la journée de la déchiqueteuse et non pas par rapport à celle des camions. Si au moment où le camion est plein, le temps de travail restant de la déchiqueteuse est inférieur à la valeur donnée, le camion ira livrer son voyage et ne reviendra pas à la déchiqueteuse. Le temps doit être spécifié en minutes et peut être différent pour chaque camion. Donc, les temps donnés à cette colonne mettent fin à la journée de travail des camions, ce qui entraîne l'arrêt des débardeuses et de la déchiqueteuse.

Par exemple, si un cycle de camionnage (chargement, livraison, déchargement et retour) dure 3 heures (180 minutes), on peut décider que tout camion qui quitte le site de déchiquetage alors qu'il ne reste pas deux heures et demie (150 minutes) de travail n'y reviendra pas. La valeur à inscrire au formulaire est de 150 dans ce cas.

Le prochain groupe de colonnes sert à spécifier les coûts des machines. Ceux-ci appartiennent à deux catégories:

- les coûts de propriété;
- les coûts d'opération.

Les coûts de propriété sont souvent appelés coûts fixes. On groupe dans ces coûts toutes les dépenses annuelles qui sont encourues peu importe le nombre d'heures d'opération de la machine; ce sont des coûts que doit subir tout propriétaire, d'où leur qualificatif de coûts de propriété. Ils couvrent l'amortissement, le coût du capital, les assurances, l'immatriculation et toute autre dépense annuelle. On spécifie ces coûts en dollars par jour.

Les coûts d'opération sont tous ceux encourus lorsqu'une machine est en marche. Les principaux sont le service mécanique et les pièces qui couvrent l'usure graduelle de la machine, les pneus et le carburant. Les coûts d'opération sont spécifiés en dollars par heure productive. Le formulaire permet de varier les coûts d'opération en fonction de l'activité de la machine.

Le temps productif des débardeuses peut être subdivisé en trois activités différentes, notamment:

- activité A: le débardage de la souche à la déchiqueteuse;
- activité B: le débardage de la souche à une aire d'entreposage près de la déchiqueteuse;
- activité C: le remaniement du bois de l'aire d'entreposage à la déchiqueteuse.

Pour la déchiqueteuse, on reconnaît deux activités:

- activité A: le déchiquetage;
- activité B: le changement des couteaux. Nous avons choisi d'inclure cette activité dans le temps productif plutôt que dans les délais mécaniques, étant donné qu'elle est indispensable à l'opération.

Le temps productif des camions est également subdivisé en deux activités:

- activité A: le chargement du camion;
- activité B: la livraison, le déchargement et le retour au site de déchiquetage.

Pour la déchiqueteuse et les camions, la colonne de l'activité C n'a aucune signification.

La dernière colonne du tableau sert à spécifier le salaire horaire de l'opérateur de chaque machine. Dans le cas où il y a plus d'un opérateur par machine, on inscrit la somme du salaire horaire de tous les opérateurs ou aides-opérateurs. Pour le calcul des coûts, le programme ajoute à la valeur spécifiée à cette colonne le % de bénéfices marginaux donné au formulaire "Caractéristiques de cette simulation".

Durée des activités

Ce formulaire, comme le précédent, se présente sous forme de tableau. Il sert à spécifier la durée des activités pour chaque modèle de machine. Le nombre d'entrées dépend du nombre de modèles de machines et du nombre d'activités différentes pour chaque machine. Des machines de même modèle ont toutes les mêmes durées d'activités.

Les données du tableau sont entrées sur ordinateur en procédant ligne par ligne. Nous expliquons aux prochains paragraphes les renseignements à inscrire à chaque colonne.

Les deux premières colonnes servent à spécifier la fonction et le modèle de la machine en utilisant les mêmes codes que pour le formulaire "Données pour chaque machine".

Les deux colonnes suivantes identifient les activités par un code et une description. On entre seulement le code sur ordinateur, la description étant inscrite sur le formulaire à titre de référence. Il existe cinq codes d'activité et la signification de chacun est particulière à chaque type de machine sauf pour les codes 4 et 5 qui sont communs à tous les types. Le tableau intitulé "Durée des activités - explication des codes" présenté à la page 41 donne la signification des codes pour chaque machine. Il est conseillé à l'utilisateur de se référer à ce tableau lorsqu'il remplit le formulaire.

On rencontre par la suite la colonne intitulée "Type distribution" suivie de quatre colonnes intitulées "Paramètres". Ces colonnes servent à préciser le type de distribution qui s'applique à la durée de l'activité et les paramètres caractérisant cette distribution. Le tableau "Durée des activités - explication des codes" donne les codes correspondant à chaque type de distribution et la signification des paramètres.

DURÉE DES ACTIVITÉS EN MINUTES (DURACT)

	MACHINE		ACTIVITÉ		Type Distribution	PARAMÈTRES			
	FCT.	MODELE	CODE	DESCRIPTION		1	2	3	4
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									

Note: La durée des activités doit être donnée en minute.

DURÉE DES ACTIVITÉS

EXPLICATION DES CODES

CODES DES ACTIVITÉS

MACHINE	CODE	DESCRIPTION DE L'ACTIVITÉ
Débardeuse	1	Cycle complet de débardage
	2	Cycle d'approche (remaniement du bois entreposé près de la déchiqueteuse)
	3	Non utilisé
Déchiqueteuse	1	Déchiquetage (temps-minute pour produire une unité de volume ou de masse)
	2	Changement des couteaux
	3	Non utilisé
Camion	1	Livraison et retour au site de déchiquetage
	2	Livraison sans retour au site de déchiquetage
	3	Venue au site de déchiquetage (premier voyage)
Toutes	4	Bris
	5	Entretien et mise en marche au début de la journée

CODE DES TYPES DE DISTRIBUTION ET DES PARAMÈTRES

TYPE DISTRIBUTION		DESCRIPTION DES PARAMÈTRES			
DESCRIPTION	CODE	1	2	3	4
Moyenne*	1	Moyenne	-	-	-
Normale	2	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Uniforme	3	Minimum	Maximum	-	-
Exponentielle	4	Moyenne	Minimum	Maximum	-

* La durée de l'activité est toujours la même et correspond au temps moyen

Par exemple, on décrira comme suit le cycle de débardage d'une débardeuse de modèle 2:

- à la première colonne, on inscrit 1, soit le code des débardeuses;
- à la deuxième colonne, on inscrit 2, puisqu'il s'agit d'une machine de modèle 2;
- à la colonne "Code-activité", on inscrit 1 puisqu'il s'agit du cycle de débardage;
- à la colonne "Type distribution", on inscrit le code 2 si la durée du cycle de débardage varie suivant une distribution normale; si on juge qu'un des autres types de distribution est plus adéquat, on utilise le code approprié;
- puisqu'on a choisi la distribution normale, on inscrit une valeur pour chacun des quatre paramètres comme suit:
  - la durée moyenne en minutes d'un cycle de débardage au paramètre 1;
  - l'écart-type de la durée d'un cycle de débardage au paramètre 2;
  - la durée minimale en minutes d'un cycle de débardage au paramètre 3;
  - la durée maximale d'un cycle de débardage au paramètre 4.

Il est à remarquer que la durée de chaque activité doit être donnée en minutes. Dans le cas du déchiquetage (activité de code 1 de la déchiqueteuse), on spécifie le temps requis pour déchiqueter une unité de biomasse (mètre cube, tonne verte, etc.).

Lorsqu'une distribution normale ou exponentielle est utilisée, si la valeur tirée au hasard est inférieure au minimum spécifié ou supérieure au maximum, le programme utilise la valeur minimale ou maximale selon le cas plutôt que la valeur obtenue au hasard.

3.4 Présentation des résultats de la simulation

Cette section couvre les tableaux:

- occupation des machines en heures;
- ventilation des coûts;
- statistiques de production.

L'explication de la trace et de son utilisation fait l'objet de la section 3.5.

Occupation des machines en heures

Un exemplaire du tableau "Occupation des machines en heures" est donné à la page 44. Lorsque le tableau présente le résultat d'une journée de simulation, la mention "VALEURS DU JOUR X" est inscrite sous l'en-tête; lorsqu'il présente le résultat de tous les jours simulés, la mention "VALEURS MOYENNES PAR JOUR POUR Y JOURS" apparaît. Tel que l'indique le titre du tableau, les temps sont tous donnés en heures.

Les trois premières colonnes du tableau identifient chaque machine comme suit:

REF: numéro de référence;

FCT: code de fonction de la machine;

MOD: code du modèle de la machine.

Les trois colonnes suivantes montrent la répartition du temps productif par type d'activité. On voudra bien référer à la page 38 pour l'identification des activités A, B et C.

Les temps d'attente survenus au cours de la journée sont présentés aux deux colonnes suivantes. On distingue deux causes d'attente (CSE 1, CSE 2) pour chaque machine. L'identification des causes d'attente apparaît au bas du tableau.

Les colonnes suivantes montrent la durée des délais d'opération; on retrouve:

MECA: qui regroupe tous les délais mécaniques, soit la période d'entretien et de mise en marche des machines au début de la journée et la durée des bris;

AUTRE: qui, dans le cas de la simulation, est un délai opérationnel; il s'agit du temps perdu lorsque a machine finit de travailler plus tôt que prévu; par exemple, si la déchiqueteuse finit de charger le dernier camion et qu'il reste encore 45 minutes de travail, on on aura un délai de 0,75 heure.

PROJET: CABANO SIMULATION: 1 (1 PORTEUR, 2 DEB. CABLE, 2 CAMIONS) DATE: 25/05/82

OCCUPATION DES MACHINES EN HEURES

VALEURS DU JOUR 1

MACHINE	TEMPS PRODUCTIF			ATTENTE		DELAIS		HEURES TRAV.		TAUX	TAUX	QUANTITE PRODUITE			
REF FCT MOD	ACT. A	ACT. B	ACT. C	CSE 1	CSE 2	MECA.	AUTRE	MACH.	HOMME	UTILI	DISPO	ACT. A (T V)	ACT. B (T V)	ACT. C (T V)	COUTS ($)
DEBARDEUSE(S)															
1 1 1	8.57					0.69		9.26	9.5	93	93	60			287.28
2 1 2	6.40	0.34	0.91			1.36		9.00	9.0	85	85	29	2	11	225.79
3 1 2	6.57	0.31	1.66			0.45		9.00	9.0	95	95	32	2	18	235.00
MOYENNE	7.18	0.22	0.86			0.83		9.09	9.2			40	1	10	249.36
POURCENTAGE	79	2	9			9		100		91	91				
DECHIQUETEUSE															
4 2 1	5.57	0.50		0.06	1.79	0.42	0.65	9.00	9.0	67	95	140	1		737.17
POURCENTAGE	62	6		1	20	5	7	100		67	95				
CAMION(S)															
5 3 1	3.42	5.57		0.61	0.06	0.47		10.13	10.5	89	95	84	84		419.98
6 3 1	2.15	4.68				0.48	1.70	9.00	9.0	76	95	56	56		351.94
MOYENNE	2.79	5.12		0.30	0.03	0.47	0.85	9.57	9.8			70	70		385.96
POURCENTAGE	29	54		3		5	9	100		83	95				

	ATTENTE CAUSE 1	ATTENTE CAUSE 2
DEBARDEUSE	SURPLUS DE BOIS A LA DECHIQUETEUSE	NE S'APPLIQUE PAS
DECHIQUETEUSE	MANQUE DE BOIS	PAS DE CAMION
CAMION	DECHIQUETEUSE EST OCCUPEE	MANQUE DE BOIS

Les heures travaillées des machines (MACH) et des hommes (HOMME) font suite. Le temps des machines est présenté au centième, il est la somme de tous les temps présentés aux colonnes précédentes. Le temps des hommes est arrondi à la demi-heure supérieure; par exemple, si le temps travaillé est de 9,18 heures, la valeur 9,5 sera inscrite. On procède ainsi, car il est de pratique courante dans les opérations forestières que le travail en temps supplémentaire soit mesuré en demi-heures.

La colonne "TAUX UTILI" montre le taux d'utilisation des machines, soit le rapport entre le temps productif et le temps total travaillé.

La colonne "TAUX DISPO" montre le taux de disponibilité, soit la proportion du temps travaillé pour laquelle la machine est mécaniquement apte à travailler.

Les colonnes suivantes intitulées "QUANTITÉ PRODUITE" montrent la production réalisée au cours de la journée, par activité. Dans le cas de la déchiqueteuse, le nombre de changements de couteaux survenu au cours de la journée est montré à l'activité B.

La dernière colonne intitulée "COUTS" indique les coûts encourus au cours de la journée pour chaque machine. Ils couvrent le coût de la main-d'oeuvre ainsi que les coûts de propriété et d'opération des machines.

Dans le cadre de ce tableau, les machines sont regroupées par fonction, c'est ainsi que l'on rencontre les débardeuses, la déchiqueteuse et les camions. Pour chaque groupe de machines, on présente à la ligne "MOYENNE" la valeur moyenne de chaque colonne et à la ligne "POURCENTAGE" la répartition du temps travaillé en %.

C'est le tableau "Occupation des machines en heures" qui permet de porter un jugement sur la coordination de l'opération simulée. On peut par exemple déceler si les temps perdus en attente sont trop élevés, si les

débardeuses passent trop de temps aux activités B et C (débardage temporaire et remaniement du bois au site de déchiquetage) ou toute autre faiblesse du système de production étudié.

Ventilation des coûts

Un exemplaire du tableau "Ventilation des coûts" est donné à la page 47. Ce tableau, comme son nom l'indique, montre une ventilation des coûts par machine, par groupe de machines et par activité. Il complète le tableau précédent et permet de juger le coût de production.

Les trois premières colonnes sont identiques à celles du tableau "Occupation des machines" et servent à identifier les machines.

Les quatre colonnes suivantes présentent une répartition des dépenses par jour comme suit:

- le coût de la main-d'oeuvre;
- les coûts de la machine répartis entre:
  - les frais de propriété (PROP);
  - les frais d'opération (OPER);
- le total des coûts de la main-d'oeuvre et de la machine.

Les colonnes suivantes montrent les coûts par tonne verte (unité de mesure de notre exemple) pour chaque type d'activité. Ces coûts sont répartis entre les postes main-d'oeuvre (M.-O.) et machine (MACH), et finalement le total est donné.

Les trois dernières colonnes indiquent les coûts par tonne verte déchiquetée. Ces coûts sont présentés par groupe de machines de même fonction et non pas par machine individuelle; ainsi on obtient successivement le coût du débardage, du déchiquetage et du camionnage par tonne verte déchiquetée. Le grand total montre le coût de production de l'ensemble des machines simulées.

PROJET: CABANO SIMULATION: 1 (1 PORTEUR, 2 DEB. CABLE, 2 CAMIONS) DATE: 25/05/82

VENTILATION DES COUTS

VALEURS MOYENNES PAR JOUR POUR 3 JOURS

MACHINE			DEPENSES PAR JOUR				COUTS PAR TONNE VERTE									COUTS PAR TONNE VERTE DECHIQUETE(E)		
				MACHINE			ACTIVITE A			ACTIVITE B			ACTIVITE C					
REF	FCT	MOD	MAIN OEUVRE	PROP.	OPER.	TOTAL	M.-O.	MACH.	TOTAL	M.-O.	MACH.	TOTAL	M. O.	MACH.	TOTAL	M.-O.	MACH.	TOTAL
DEBARDEUSE(S)																		
1	1	1	112	72	115	299	1.82	3.02	4.85	1.77	2.93	4.70						
2	1	2	108	49	80	237	2.81	3.37	6.18	2.67	3.20	5.87	1.29	1.55	2.84			
3	1	2	108	49	82	239	2.79	3.38	6.16	2.83	3.44	6.27	1.24	1.51	2.75			
SOUS-TOTAL:			328	170	277	775										2.34	3.19	5.53
MOYENNE:							2.34	3.21	5.55	2.27	3.12	5.39	1.28	1.54	2.81			
DECHIQUETEUSE																		
4	2	1	195	263	298	756	1.28	3.69	4.97	15.52	44.58	60.10				1.39	4.01	5.40
CAMION(S)																		
5	3	1	130	103	211	444	0.56	1.36	1.92	0.99	2.38	3.37						
6	3	1	99	103	148	350	0.60	1.54	2.14	1.16	2.95	4.11						
SOUS-TOTAL:			229	206	359	794										1.64	4.04	5.67
MOYENNE:							0.58	1.43	2.01	1.06	2.61	3.67						
GRAND TOTAL			752	639	934	2325										5.37	11.23	16.61

Statistiques de production

Ce tableau, dont un exemplaire apparaît à la page 49, a un caractère bien différent des deux précédents; il donne des renseignements sur des variables précises plutôt que sur les machines. Il ajoute à la compréhension de l'opération simulée et permet de mieux la caractériser. Il est présenté à chaque simulation et fournit des statistiques sur les six variables suivantes:

- le temps d'attente des camions causé par la déchiqueteuse;
- le temps d'attente de la déchiqueteuse causé par l'absence de camions;
- le temps d'attente de la déchiqueteuse causé par le débardage (manque de biomasse); il est à remarquer que les camions ont un temps d'attente causé par le débardage exactement identique à celui de la déchiqueteuse, car tout manque de biomasse cause à la fois l'attente de la déchiqueteuse et d'un camion;
- le temps d'attente des débardeuses;
- le volume ou la masse déchiquetée par jour;
- le coût quotidien par unité déchiquetée.

On présente pour chaque variable les statistiques suivantes:

- le nombre d'observations (NB OBS), soit le nombre de fois que la variable est survenue; par exemple le nombre de fois qu'un camion a attendu la déchiqueteuse;
- la valeur moyenne observée (à noter que les temps d'attente sont tous exprimés en minutes);
- l'écart-type (EC. TYPE) des données observées;
- la valeur "minimum";
- la valeur "maximum".

Si ce tableau indique par exemple que l'attente des camions causée par la déchiqueteuse a une valeur moyenne de 19 minutes, un écart-type de 22 minutes et une valeur maximale de 63 minutes, il est alors fort probable que les camions ne sont pas suffisamment espacés au début de la journée. En

PROJET: CABANO SIMULATION: 1 (1 PORTEUR, 2 DEB. CABLE, 2 CAMIONS) DATE: 27 MAI 1982

STATISTIQUES DE PRODUCTION

NOMBRE DE JOURS SIMULES: 3

VARIABLES	NB OBS	MOYENNE	EC. TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
ATTENTE DES CAMIONS CAUSEE PAR LA DECHIQUETEUSE	3	37.40	28.93	8.93	66.76
ATTENTE DE LA DECHIQUETEUSE CAUSEE PAR LES CAMIONS	12	24.86	23.98	5.21	89.81
ATTENTE DE LA DECHIQUETEUSE CAUSEE PAR LE DEBARDAGE	25	5.17	3.98	0.08	13.81
ATTENTE DES DEBARDEUSES					
QUANTITE DECHIQUETEE PAR JOUR EN TONNES VERTES	3	140.00		140.00	140.00
COUT QUOTIDIEN PAR UNITE DECHIQUETEE	3	16.61	0.46	16.12	17.04

effet, si le deuxième camion commence sa journée 30 minutes après le premier mais que le temps pour remplir le premier est de l'ordre de 80 à 90 minutes, au début de chaque jour, le deuxième camion attendra de 50 à 60 minutes que la déchiqueteuse ait fini de remplir le premier. La trace permet de vérifier ce qui se passe réellement.

De même, si la simulation de deux modes d'opération différents produit un coût moyen par unité déchiquetée du même ordre de grandeur, disons 26,15 $ et 26,40 $ par tonne verte, mais qu'ils diffèrent considérablement au niveau de l'écart-type, soit 1,70 $ et 0,75 $, le choix du système ayant le plus faible écart-type est préférable puisque même si la valeur moyenne est un peu plus élevée dans notre exemple (0,25 $ par tonne verte), les risques semblent moins grands comme le confirme l'écart-type plus faible.

Ces exemples illustrent l'usage qui peut être fait du tableau "Statistiques de production".

3.5 Explication et utilisation de la trace

La trace permet de suivre les activités des machines au cours de la simulation. Un exemplaire en est présenté à la page 53; ce cas correspond à la simulation de la mise en copeaux par une déchiqueteuse se déplaçant le long d'un empilement d'arbres (méthode d'opération 1). On y rencontre donc aucune débardeuse.

La trace présente pour chaque événement:

- l'heure de réalisation de cet événement, calculée en minutes à partir du temps de référence choisi;
- l'identification de l'activité qui vient de se terminer;
- l'identification des machines qui sont affectées par cet événement ainsi que des activités qui en découlent avec leur temps de réalisation.

L'identification de l'activité qui vient de se terminer ou de l'événement qui vient de se réaliser se fait par inscription du nom du sous-programme. On rencontre les identifications suivantes:

DEBAR: arrivée d'une débardeuse à la déchiqueteuse;

CDEBAR: continuation du débardage, ce sous-programme génère le premier cycle de débardage de chaque machine au début de la journée;

APPROCHE: arrivée d'une débardeuse avec une charge provenant de l'empilement de réserve plutôt que de l'aire de coupe;

BRDEBAR: fin du bris d'une débardeuse;

DECHI: fin du déchiquetage d'une quantité de biomasse;

CHGCOU: fin du changement des couteaux de la déchiqueteuse (c'est aussi par ce sous-programme que la déchiqueteuse est mise à l'oeuvre au début de la journée);

BRDECHI: fin du bris de la déchiqueteuse;

ARCAM: arrivée d'un camion au site de déchiquetage.

Chaque machine affectée par l'événement qui vient de se réaliser est identifiée par cinq entrées sur une même ligne. On retrouve donc autant de lignes qu'il y a de machines impliquées. Les renseignements suivants sont présentés pour chaque machine:

- le type de machine, soit une débardeuse, une déchiqueteuse ou un camion;
- le numéro de référence de la machine;
- le modèle de la machine;
- le code du prochain événement soit:
  - 1 pour DEBAR
  - 2 pour APPROCHE
  - 3 pour BRDEBAR
  - 4 pour DECHI
  - 5 pour CHGCOU
  - 6 pour BRDECHI
  - 7 pour ARCAM

8 pour CDEBAR
9 indique qu'une débardeuse est mise en attente,
10 indique que la déchiqueteuse et un camion sont en attente à cause d'un manque de biomasse,
11 indique que la déchiqueteuse attend un camion,
12 indique qu'un camion attend la déchiqueteuse;

- l'heure (HRE) de réalisation de ce prochain événement; toutefois, lorsqu'une machine est mise en attente, au lieu de l'heure de réalisation du prochain événement, l'heure à laquelle l'attente a débuté est inscrite en valeur négative.

Lorsque le prochain événement est en fait la fin de la journée de travail, on retrouve, à la place du code du prochain événement, l'heure à laquelle l'arrêt du travail a lieu et à HRE on retrouve la valeur 6 000. lorsque la colonne HRE contient la valeur 6 000 pour toutes les machines, le sous-programme "REAL" (réalisation) reconnaît que la simulation de cette journée est complétée.

Suivons maintenant les activités qui sont produites au cours de la journée dont la trace est présentée à la page 53.

Dans cette simulation, la déchiqueteuse commence sa journée au temps 45, le camion numéro 2 au temps 0 et le camion numéro 3 au temps 90; la durée de la journée de travail est de 540 minutes (9 heures).

Le premier événement montré sur la trace se produit au temps 72,16 et porte le code CHGCOU; dans ce cas, il s'agit de la mise en marche de la déchiqueteuse au début de la journée et non pas d'un changement effectif de couteaux. L'entretien et l'opération de mise en marche de la déchiqueteuse ont duré 27,16 minutes (72,16 - 45,00), soit la différente entre le moment où celle-ci est prête à travailler (72,16) et l'heure à laquelle la journée a commencé (45,00). Comme il n'y a pas de camion sur place, la déchiqueteuse est mise en attente d'un camion (code 11) au temps 72,16.

TRACE DE LA JOURNEE 1

```
HEURE: 72.16
   ACTIVITE: CHGCOU
   DECHIQUETEUSE  1  1     11 HRE  72.16
HEURE: 73.36
   ACTIVITE: ARCAM
   DECHIQUETEUSE  1  1      4 HRE 135.98
   CAMION(S)      2  1      4 HRE 135.98
HEURE: 135.9820051
   ACTIVITE: DECHI
   CAMION(S)      2  1      7 HRE 255.74
   DECHIQUETEUSE  1  1      5 HRE 165.98
HEURE: 143.59
   ACTIVITE: ARCAM
   CAMION(S)      3  1     12 HRE 143.59
HEURE: 165.9820051
   ACTIVITE: CHGCOU
   DECHIQUETEUSE  1  1      4 HRE 210.78
   CAMION(S)      3  1      4 HRE 210.78
HEURE: 210.7820051
   ACTIVITE: DECHI
   CAMION(S)      3  1      7 HRE 327.28
   DECHIQUETEUSE  1  1     11 HRE 210.78
HEURE: 255.7420051
   ACTIVITE: ARCAM
   DECHIQUETEUSE  1  1      4 HRE 306.32
   CAMION(S)      2  1      4 HRE 306.32
HEURE: 306.3194879
   ACTIVITE: DECHI
   CAMION(S)      2  1      7 HRE 418.75
   DECHIQUETEUSE  1  1     11 HRE 306.32
HEURE: 327.2820051
   ACTIVITE: ARCAM
   DECHIQUETEUSE  1  1      4 HRE 390.44
   CAMION(S)      3  1      4 HRE 390.44
HEURE: 390.4411591
   ACTIVITE: DECHI
   CAMION(S)      3  1      7 HRE 509.11
   DECHIQUETEUSE  1  1     11 HRE 390.44
HEURE: 418.7494879
   ACTIVITE: ARCAM
   DECHIQUETEUSE  1  1      4 HRE 463.55
   CAMION(S)      2  1      4 HRE 463.55
HEURE: 463.5494879
   ACTIVITE: DECHI
   CAMION(S)      2  1    541 HRE6000.00
   DECHIQUETEUSE  1  1      5 HRE 493.55
HEURE: 493.5494879
   ACTIVITE: CHGCOU
   DECHIQUETEUSE  1  1     11 HRE 493.55
HEURE: 509.1411591
   ACTIVITE: ARCAM
   DECHIQUETEUSE  1  1      4 HRE 584.14
   CAMION(S)      3  1      4 HRE 584.14
HEURE: 584.1357993
   ACTIVITE: DECHI
   CAMION(S)      3  1    647 HRE6000.00
   DECHIQUETEUSE  1  1    584 HRE6000.00
```

Le prochain événement a lieu au temps 73,36; il s'agit de l'arrivée du camion numéro 2 (ARCAM); celui-ci a pris 73,36 minutes pour son entretien quotidien et pour se rendre au site de déchiquetage. La déchiqueteuse étant disponible, celle-ci commence à remplir le camion 2. Cette activité durera jusqu'au temps 135,98.

Au temps 135,98, le déchiquetage prend fin (DECHI). Le camion quitte pour livrer son voyage et il sera de retour (code 7 - ARCAM) au temps 255,74; il prendra donc 119,76 minutes (255,74 - 135,98) pour effectuer sa livraison. La déchiqueteuse pour sa part procède au changement de couteaux (code 5 - CHGCOU) lequel sera terminé au temps 165,98.

Le camion numéro 3 arrive au site à l'heure 143,59 et est mis en attente de la déchiqueteuse (code 12) puisque celle-ci n'est pas actuellement disponible. On est en train de changer les couteaux.

A l'heure 165,98, le changement des couteaux (CHGCOU) est terminé. Le déchiquetage commence. L'attente du camion numéro 3 aura donc duré 22,39 minutes (165,98 - 143,59).

A 210,78, le déchiquetage est terminé (DECHI) et le camion 3 quitte pour livrer sa charge. Il sera de retour (code 7 - ARCAM) au temps 327,28. La déchiqueteuse est mise en attente d'un camion (code 11).

Le prochain événement est l'arrivée du camion (ARCAM) numéro 2 au temps 255,74. La déchiqueteuse se remet donc à l'oeuvre et le camion est plein à 306,32, soit l'événement suivant. Au temps 306,32, le camion 2 va livrer sa charge et la déchiqueteuse est mise en attente.

Le camion 3 revient au site de déchiquetage à l'heure 327,28 mettant ainsi fin à l'attente de la déchiqueteuse.

A 390,44, le camion 3 est plein et quitte le site. La déchiqueteuse est alors remise en attente.

Le camion 2 arrive à 418,75 et le déchiquetage reprend; il durera jusqu'à l'heure 463,55.

L'événement suivant est la fin du déchiquetage à 463,55. Le camion 2 va livrer son voyage et comme l'indique l'heure (HRE 6 000,00), il ne reviendra pas au site de déchiquetage. Il aura fini sa livraison et donc sa journée de travail au temps 541,00. La déchiqueteuse pour sa part fait l'objet d'un changement de couteaux (code 5) qui durera jusqu'au temps 493,55.

Le changement des couteaux est terminé à 493,55 et, comme aucun camion n'est revenu, la déchiqueteuse est mise en attente.

Le camion 3 arrive à l'heure 509,14 et le déchiquetage débute; il durera jusqu'à l'heure 584,14.

A l'heure 584,14, le camion 3 est plein. Il va livrer son voyage et met fin à sa journée de travail au temps 647,00. La déchiqueteuse pour sa part met immédiatement fin à sa journée de travail.

Connaissant l'heure au moment du commencement de la journée de travail et la durée de celle-ci (540 minutes), on peut établir comme suit l'heure à la fin de la journée de travail:

- déchiqueteuse: 45 + 540 = 585
- camion 2: 0 + 540 = 540
- camion 3: 90 + 540 = 630

La trace montre que la déchiqueteuse a effectivement termminé la journée au temps 584,00. Il n'y a donc dans ce cas aucun travail en temps supplémentaire ni aucun délai opérationnel pour avoir cessé de travailler plus tôt que l'heure prévue.

Le camion 2 a terminé le travail à l'heure 541,00; il est donc dans le même cas que la déchiqueteuse.

Le camion 3 pour sa part a terminé la journée au temps 647,00; il a par conséquent travaillé 17 minutes (647,00 - 630,00) en temps supplémentaire et l'opérateur sera rémunéré pour une demi-heure de temps supplémentaire.

CHAPITRE 4

UN EXEMPLE DE SIMULATION

A titre d'exemple, nous présentons à ce chapitre la simulation d'une opération de déchiquetage où les débardeuses accumulent les arbres au site de déchiquetage lorsque ceux-ci ne peuvent être déposés à portée de la déchiqueteuse.

Le débardage est effectué par un porteur sur roues et par deux débardeuses à câble. La mise en copeaux est faite par une déchiqueteuse Morbark modèle 22 et la livraison est assurée par deux camions équipés de semi-remorques de 14 m de long et d'une capacité de charge de 28 tonnes vertes.

On retrouvera aux prochaines pages les données pertinentes et les résultats du modèle de simulation dans l'ordre suivant:

a) Module de calcul

Données d'entrée:

- renseignements d'application générale;
- données propres à chaque engin d'exploitation;
- données propres à chaque camion.

Résultats:

- coût d'opération de l'équipement.

b) Module de simulation

Données d'entrée:

- description de l'opération simulée et des variables du milieu;
- renseignements sur cette simulation;
- données pour chaque machine;
- durée des activités en minutes.

Résultats:

- trace de la journée 1 (partie);
- occupation des machines en heures (valeurs du jour 1);

- ventilation des coûts (valeurs du jour 1),
- occupation des machines en heures (valeurs moyennes par jour pour 3 jours),
- ventilation des coûts (valeurs moyennes par jour pour 3 jours),
- statistiques de production.

Reproduction des données d'entrée
et résultats du
module de calcul
"CALCULCOUT"

RENSEIGNEMENTS D'APPLICATION GENERALE

COUTS LIES A L'INVESTISSEMENT.

AMORTISSEMENT ANNUEL UNIFORME	:	1.00
PROGRAMME D'ACHAT-LOCATION	:	
DUREE DU PLAN D'ACHAT - LOCATION EN ANNEES	:	
TAUX D'INTERET DU PLAN EN POURCENTAGE	:	
VALEUR RESIDUELLE EN PC DU PRIX D'ACHAT	:	30.00
TAUX D'INTERET APPLICABLE A L'INVESTISSEMENT MOYEN EN PC	:	15.00

SALAIRES, BENEFICES MARGINAUX ET COUTS DIVERS.

SALAIRE HORAIRE DES AIDES-OPERATEURS EN $	:	8.00
SALAIRE HORAIRE DES OPERATEURS EN $	:	9.00
SALAIRE HORAIRE DES MECANICIENS EN $	:	10.00
BENEFICES MARGINAUX EN PC DU SALAIRE	:	22.00
COUT DES PIECES POUR LA VIE DE LA MACHINE (o/o)	:	75.00
COUT HORAIRE DU SERVICE MECANIQUE EN $	:	15.00
COUT DU CARBURANT EN $ PAR UNITE	:	0.45
COUT ANNUEL DES ASSURANCES EN PC DU PRIX D'ACHAT	:	3.00
NOMBRE D'HEURES DE TRAVAIL PAR QUART	:	9.00

AUTRES RENSEIGNEMENTS.

UNITE DE MESURE DE LA PRODUCTION (SELON LE CODE)	:	5.00
UNITE DE MESURE DES CARBURANTS	:	1.00
NOMBRE D'ENGINS D'EXPLOITATION DIFFERENTS	:	3.00
NOMBRE DE CAMIONS DIFFERENTS	:	1.00

DONNEES PROPRES A CHAQUE ENGIN D'EXPLOITATION

IDENTIFICATION.				
NO DE REFERENCE	:	1.00	2.00	3.00
CODE DE FONCTION	:	1.00	1.00	2.00
CARACTERISTIQUES.				
PRIX D'ACHAT EN 1000$	:	60.00	40.00	250.00
VALEUR RESIDUELLE EN PC	:			
DUREE DU PLAN D'ACHAT-LOCATION	:			
VIE EN 1000;HEURES PRODUCTIVES	:	12.00	12.00	12.00
HEURES PREVUES/ANNEE TRAVAIL	:	1800.00	1800.00	1800.00
TAUX D'UTILISATION EN PC	:	80.00	85.00	65.00
DEPENSES ANNUELLES.				
ASSURANCES EN $/AN	:			
IMMATRICULATION EN $/AN	:			
AUTRES DEPENSES EN $/AN	:	1000.00	1000.00	2000.00
DEPENSES COURANTES.				
HEURES REPARATION/HRE PRODUCTIVE	:	0.15	0.12	0.15
COUT DES PIECES: EN PC DU PRIX D'ACHAT	:			
EN $/HRE PRODUCTIVE	:			
EN $/AN	:			
LUBRIFIANTS EN $/HRE PRODUCTIVE	:	1.50	1.00	4.00
AUTRES EN $/HRE PRODUCTIVE	:			
CONSOMMATION CARBURANT/HRE PRODUCTIVE	:	9.00	9.00	45.00
MAIN-D'OEUVRE.				
NOMBRE D'AIDES-OPERATEURS	:			1.00
SALAIRE DES AIDES-OPERATEURS	:	8.00	8.00	8.00
NOMBRE D'OPERATEURS	:	1.00	1.00	1.00
SALAIRE DES OPERATEURS	:	9.00	9.00	9.00
PRODUCTIVITE.				
PRODUCTION/HEURE PRODUCTIVE	:	7.00	5.00	24.00

DONNEES PROPRES A CHAQUE CAMION

IDENTIFICATION.

NO DE REFERENCE	:	4.00
CODE DE FONCTION	:	3.00

CARACTERISTIQUES.

PRIX D'ACHAT EN 1000$	:	80.00
VALEUR RESIDUELLE EN PC	:	
DUREE DU PLAN D'ACHAT-LOCATION	:	
VIE EN 1000 HEURES PRODUCTIVES	:	12.00
HEURES PREVUES/ANNEE TRAVAIL	:	2000.00
TAUX D'UTILISATION EN PC	:	85.00

DEPENSES ANNUELLES.

ASSURANCES EN $/AN	:	3500.00
IMMATRICULATION EN $/AN	:	1500.00
AUTRES DEPENSES EN $/AN	:	1500.00

DEPENSES COURANTES.

HEURES REPARATION/HRE PRODUCTIVE	:	0.15
COUT DES PIECES: EN PC DU PRIX D'ACHAT	:	
EN $/HRE PRODUCTIVE	:	
EN $/AN	:	
LUBRIFIANTS EN $/HRE PRODUCTIVE	:	1.00
AUTRES EN $/HRE PRODUCTIVE	:	
DISTANCE PAR UNITE DE CARBURANT	:	1.60
PNEUS PAR VEHICULE	:	22.00
COUT D'UN PNEU	:	450.00
VIE D'UN PNEU EN 1000 UNITES DE DISTANCE	:	80.00
SALAIRE DE L'OPERATEUR	:	7.00

PRODUCTIVITE.

CHARGE VOYAGE	:	28.00
DISTANCE DE LIVRAISON (ALLER)	:	40.00
VITESSE MOYENNE	:	53.00
TEMPS DE CHARGEMENT ET DECHARGEMENT, HRE	:	1.25

C O U T D'O P E R A T I O N D E L'E Q U I P E M E N T

IDENTIFICATION

NO REFERENCE	1	2	3	4
FONCTION	DEBARD	DEBARD	DECHIQ	CAMION
HEURES PREVUES/ANNEE	1800	1800	1800	2000
TAUX UTILISATION (o/o)	80	85	65	85
PRIX D'ACHAT EN 1000$	60	40	250	80
CAPITAL MOYEN EN 1000$	42	28	171	56

DEPENSES ANNUELLES ($/JOUR)

AMORTISSEMENT	26.25	17.50	87.50	35.87
COUT DU CAPITAL	31.22	20.81	128.44	37.67
ASSURANCES ET AUTRES	14.00	11.00	47.50	29.15
TOTAL EN $/JOUR	71.47	49.31	263.44	102.69
TOTAL EN $/H.PRO.	9.93	6.45	45.03	13.42

DEPENSES COURANTES ($/HEURE PRODUCTIVE)

SERVICE MECANIQUE	2.25	1.80	2.25	2.25
PIECES	5.00	3.33	20.83	6.67
PNEUS				3.59
CARBURANT	4.05	4.05	20.25	8.56
AUTRES	1.50	1.00	4.00	1.00
TOTAL EN $/H.PRO.	12.80	10.18	47.33	22.07

DEPENSES DE MAIN D'OEUVRE

EN $/JOUR	98.82	98.82	186.66	98.82
EN $/HEURE PRODUCTIVE	13.72	12.92	31.91	12.92

TOTAL DES DEPENSES

EN $/JOUR	262.45	226.03	727.00	370.31
EN $/HEURE PRODUCTIVE	36.45	29.55	124.27	48.41

PRODUCTIVITE

T V /JOUR	50.40	38.25	140.40	77.62
T V /HEURE PRODUCTIVE	7.00	5.00	24.00	10.15

COUT PAR TONNE VERTE

MACHINES				
DEP. ANNUELLES	1.42	1.29	1.88	1.32
DEP. COURANTES	1.83	2.04	1.97	2.17
SOUS-TOTAL	3.25	3.33	3.85	3.50
MAIN D'OEUVRE	1.96	2.58	1.33	1.27
TOTAL	5.21	5.91	5.18	4.77

Reproduction des données d'entrée
et résultats du
module de simulation
"SIMULATION"

PROJET: CABANO
SIMULATION: 1 (1 PORTEUR, 2 DEB. CABLE, 2 CAMIONS)
DATE: 27 MAI 1982

DESCRIPTION DE L'OPERATION SIMULEE ET DES VARIABLES DU MILIEU

LES DEBARDEUSES ALIMENTENT LA DECHIQUETEUSE AU FUR
ET A MESURE DU DECHIQUETAGE. ELLES ACCUMULENT DU BOIS
PRES DE LA DECHIQUETEUSE LORSQUE LE DECHIQUETAGE EST ARRETE.

MACHINES EMPLOYEES

DEBARDEUSES
MODELE: 1 PORTEUR JOHN DEERE (UN)
MODELE: 2 DEBARDEUSE A CABLE (DEUX)

DECHIQUETEUSE
MODELE: NORBERT MODEL 22

CAMIONS
MODELE: 1 SEMI REMORQUE 14 METRES (DEUX)

FUT RECOLTE

PEUPLEMENT : PET A 3 J
TYPE DE COUPE : BLANC
NOMBRE DE TIGES ENLEVEES A L'HECTARE : 8000
VOLUME OU MASSE RECOLTE A L'HECTARE : 150 TONNES VERTES

CARACTERISTIQUES DU TERRAIN: PENTE (%) : 15
NATURE DU SOL : SOLIDE
DRAINAGE : MOYEN

DISTANCE ENTRE LA FORET ET L USINE (KM) : 40

RENSEIGNEMENTS SUR CETTE SIMULATION

NOMBRE DE JOURS A SIMULER (NJAS) :3
UN RAPPORT QUOTIDIEN SERA PRESENTE POUR LES JOURS (IMPRQ) :1
LA TRACE DES ACTIVITES SERA PRESENTEE POUR LES JOURS (TRAJR) :1

L'UNITE DE MESURE DE LA BIOMASSE EST (SELON LE CODE INSCRIT) :T V

QUANTITE MAXIMALE DE BIOMASSE QUI PEUT ETRE PLACEE A LA PORTEE DE LA DECHIQUETEUSE (BIOMAX) :15

UNE DEBARDEUSE APPROCHERA DU BOIS SI LA QUANTITE DE BIOMASSE A LA PORTEE DE LA DECHIQUETEUSE EST MOINDRE QUE (BIOAP) :5

QUANTITE DE BIOMASSE A LA PORTEE DE LA DECHIQUETEUSE AU DEBUT DE LA SIMULATION (BIOD) :10

QUANTITE DE BIOMASSE ENTREPOSEE AU SITE DE DECHIQUETAGE AU DEBUT DE LA SIMULATION (BIOR) :25

NOMBRE DE CAMIONS QUI PEUVENT ETRE CHARGES PAR LA DECHIQUETEUSE SANS DEVOIR CHANGER LES COUTEAUX (INTCOUN) :4

DUREE DE LA JOURNEE DE TRAVAIL EN MINUTES (JOUR) :540

PRIME POUR LE TRAVAIL EN TEMPS SUPPLEMENTAIRE EN POURCENTAGE DU SALAIRE DE BASE (PRIME) :50

BENEFICES MARGINAUX EN POURCENTAGE DU SALAIRE DE BASE (BENMARG) :22

REMARQUES

DONNEES POUR CHAQUE MACHINE

MACHINE		HEURE DEBUT JOURNEE	NB BRIS PAR 1000 CYCLES	CHARGE PAR VOYAGE	**	COUTS DES MACHINES				
FONCTION	MODELE					COUTS DE PROPRIETE	COUTS D'OPERATION ACT. A	ACT. B	ACT. C	SALAIRE OPERATEUR
		(MIN.)		(T V)		($/JOUR)	($/H.P.)	($/H.P.)	($/H.P.)	($/HEURE)
DEBARDEUSE(S)	1	45	40	3.50	0	72.00	12.80	12.80		9.00
DEBARDEUSE(S)	2	45	40	1.50	1	49.00	10.20	10.20	10.20	9.00
DEBARDEUSE(S)	2	45	40	1.50	1	49.00	10.20	10.20	10.20	9.00
DECHIQUETEUSE	1	45	60		0	263.00	47.35	47.35		17.00
CAMION(S)	1	0	50	28.00	165	103.00	22.00	22.00		9.00
CAMION(S)	1	90	50	28.00	165	103.00	22.00	22.00		9.00

	ACTIVITE A		ACTIVITE B		ACTIVITE C	
		U.MESURE		U.MESURE		U.MESURE
DEBARDEUSES	DEBARDAGE DE LA SOUCHE A LA DECHIQUETEUSE	T V	DEBARDAGE DE LA SOUCHE A UNE AIRE D'ENTREPOSAGE PRES DE LA DECHIQUETEUSE	T V	REMANIEMENT DU BOIS DE L'AIRE D'ENTREPOSAGE A LA DECHIQUETEUSE	T V
DECHIQUETEUSE	DECHIQUETAGE	T V	CHANGEMENT DES COUTEAUX	NB CHANGEMENTS	NE S'APPLIQUE PAS	
CAMIONS	CHARGEMENT	T V	LIVRAISON ET DECHARGEMENT	T V	NE S'APPLIQUE PAS	

DUREE DES ACTIVITES EN MINUTES

MACHINE		ACTIVITES		TYPE DE DISTRIBUTION	PARAMETRES			
FCT	MODELE	CODE	DESCRIPTION		1	2	3	4
DEBARD	1	1	CYCLE DE DEBARDAGE	NRML	30.0	5.0	12.0	45.0
DEBARD	1	4	BRIS	EXPO	40.0	15.0	120.0	
DEBARD	1	5	ENTRETIEN ET MISE EN MARCHE	UNFR	15.0	30.0		
DEBARD	2	1	CYCLE DE DEBARDAGE	NRML	18.0	4.0	10.0	30.0
DEBARD	2	4	BRIS	EXPO	40.0	15.0	120.0	
DEBARD	2	5	ENTRETIEN ET MISE EN MARCHE	UNFR	15.0	30.0		
DEBARD	2	2	CYCLE D'APPROCHAGE	NRML	8.0	2.0	5.0	12.0
DECHIQ	1	1	DECHIQUETAGE	NRML	2.5	0.5	1.8	4.0
DECHIQ	1	2	CHANGEMENT DES COUTEAUX	MOY	30.0			
DECHIQ	1	4	BRIS	EXPO	40.0	15.0	120.0	
DECHIQ	1	5	ENTRETIEN ET MISE EN MARCHE	UNFR	15.0	30.0		
CAMION	1	1	LIVRAISON ET RETOUR AU SITE DE DECHIQUETAGE	UNFR	90.0	150.0		
CAMION	1	2	LIVRAISON SANS RETOUR AU SITE DE DECHIQUETAGE	UNFR	60.0	90.0		
CAMION	1	3	VENUE AU SITE DE DECHIQUETAGE (PREMIER VOYAGE)	UNFR	35.0	55.0		
CAMION	1	4	BRIS	EXPO	40.0	15.0	120.0	
CAMION	1	5	ENTRETIEN ET MISE EN MARCHE	UNFR	15.0	30.0		

SIGNIFICATION DES PARAMETRES

TYPE DE DISTRIBUTION	PARAMETRES			
MOY	VALEUR MOYENNE	-----	-----	-----
NRML	MOYENNE	ECART TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
UNFR	MINIMUM	MAXIMUM	----	----
EXPON	MOYENNE	MINIMUM	MAXIMUM	----

TRACE DE LA JOURNEE 1

```
HEURE: 61.96
   ACTIVITE: CDEBAR
   DEBARDEUSE(S)  2  2      1 HRE  74.08
HEURE: 70.42
   ACTIVITE: CHGCOU
   DECHIQUETEUSE  4  1     11 HRE  70.42
HEURE: 71.63
   ACTIVITE: CDEBAR
   DEBARDEUSE(S)  1  1      1 HRE 100.67
HEURE: 72.18
   ACTIVITE: CDEBAR
   DEBARDEUSE(S)  3  2      1 HRE  94.35
HEURE: 74.07991239
   ACTIVITE: DEBAR
   DEBARDEUSE(S)  2  2      1 HRE  99.02
HEURE: 78.39
   ACTIVITE: ARCAM
   DECHIQUETEUSE  4  1      4 HRE 104.46
   CAMION(S)      5  1      4 HRE 104.46
HEURE: 94.35226364
   ACTIVITE: DEBAR
   DEBARDEUSE(S)  3  2      2 HRE 101.04
HEURE: 99.021614
   ACTIVITE: DEBAR
   DEBARDEUSE(S)  2  2      1 HRE 122.60
HEURE: 100.6675523
   ACTIVITE: DEBAR
   DEBARDEUSE(S)  1  1      1 HRE 130.67
HEURE: 101.0407494
   ACTIVITE: APPROCHE
   DEBARDEUSE(S)  3  2      2 HRE 112.09
HEURE: 104.4576846
   ACTIVITE: DECHI
   DECHIQUETEUSE  4  1      4 HRE 120.35
   CAMION(S)      5  1      4 HRE 120.35
HEURE: 112.0887861
   ACTIVITE: APPROCHE
   DEBARDEUSE(S)  3  2      2 HRE 119.41
HEURE: 119.40623
   ACTIVITE: APPROCHE
   DEBARDEUSE(S)  3  2      2 HRE 129.27
HEURE: 120.3544054
   ACTIVITE: DECHI
   DECHIQUETEUSE  4  1      4 HRE 125.75
   CAMION(S)      5  1      4 HRE 125.75
HEURE: 122.5987373
   ACTIVITE: DEBAR
   DEBARDEUSE(S)  2  2      1 HRE 140.97
HEURE: 125.7544054
   ACTIVITE: DECHI
   DECHIQUETEUSE  4  1      4 HRE 128.77
   CAMION(S)      5  1      4 HRE 128.77
HEURE: 128.7741145
   ACTIVITE: DECHI
   DECHIQUETEUSE  4  1     10 HRE 128.77
   CAMION(S)      5  1     10 HRE 128.77
```

PROJET: CABANO SIMULA ION: 1 (1 PORTEUR, 2 DEB. CABLE, 2 CAMIONS) DATE: 25/05/82

OCCUPATION DES MACHINES EN HEURES

VALEURS DU JOUR 1

MACHINE			TEMPS PRODUCTIF			ATTENTE		DELAIS		HEURES TRAV.		TAUX	TAUX	QUANTITE PRODUITE			
REF	FCT	MOD	ACT. A	ACT. B	ACT. C	CSE 1	CSE 2	MECA.	AUTRE	MACH.	HOMME	UTILI	DISPO	ACT. A	ACT. B	ACT. C	COUTS
														(T V)	(T V)	(T V)	($)
DEBARDEUSE(S)																	
1	1	1	8.57					0.69		9.26	9.5	93	93	60			287.28
2	1	2	6.40	0.34	0.91			1.36		9.00	9.0	85	85	29	2	11	225.79
3	1	2	6.57	0.31	1.66			0.45		9.00	9.0	95	95	32	2	18	235.00
MOYENNE			7.18	0.22	0.86			0.83		9.09	9.2			40	1	10	249.36
POURCENTAGE			79	2	9			9		100		91	91				
DECHIQUETEUSE																	
4	2	1	5.57	0.50		0.06	1.79	0.42	0.65	9.00	9.0	67	95	140	1		737.17
POURCENTAGE			62	6		1	20	5	7	100		67	95				
CAMION(S)																	
5	3	1	3.42	5.57		0.61	0.06	0.47		10.13	10.5	89	95	84	84		419.98
6	3	1	2.15	4.68				0.48	1.70	9.00	9.0	76	95	56	56		351.94
MOYENNE			2.79	5.12		0.30	0.03	0.47	0.85	9.57	9.8			70	70		385.96
POURCENTAGE			29	54		3		5	9	100		83	95				

	ATTENTE CAUSE 1	ATTENTE CAUSE 2
DEBARDEUSE	SURPLUS DE BOIS A LA DECHIQUETEUSE	NE S'APPLIQUE PAS
DECHIQUETEUSE	MANQUE DE BOIS	PAS DE CAMION
CAMION	DECHIQUETEUSE EST OCCUPEE	MANQUE DE BOIS

PROJET: CABANO SIMULATION: 1 (1 PORTEUR, 2 DEB. CABLE, 2 CAMIONS) DATE: 25/05/82

VENTILATION DES COUTS

VALEURS DU JOUR 1

MACHINE			DEPENSES PAR JOUR				COUTS PAR TONNE VERTE									COUTS PAR TONNE VERTE DECHIQUETE(E)		
				MACHINE			ACTIVITE A			ACTIVITE B			ACTIVITE C					
REF	FCT	MOD	MAIN OEUVRE	PROP.	OPER.	TOTAL	M.-O.	MACH.	TOTAL	M.-O.	MACH.	TOTAL	M.-O.	MACH.	TOTAL	M. O.	MACH.	TOTAL
DEBARDEUSE(S)																		
1	1	1	106	72	110	287	1.77	3.05	4.83									
2	1	2	99	49	78	226	2.90	3.73	6.63	2.90	3.73	6.63	1.12	1.44	2.56			
3	1	2	99	49	87	235	2.41	3.32	5.73	2.41	3.32	5.73	1.07	1.47	2.54			
SOUS-TOTAL:			303	170	275	748										2.17	3.18	5.34
MOYENNE:							2.21	3.29	5.50	2.66	3.53	6.18	1.09	1.46	2.55			
DECHIQUETEUSE																		
4	2	1	187	263	288	737	1.22	3.61	4.83	15.37	45.33	60.70				1.33	3.94	5.27
CAMION(S)																		
5	3	1	119	103	198	420	0.54	1.36	1.90	0.88	2.22	3.10						
6	3	1	99	103	150	352	0.56	1.42	1.98	1.21	3.10	4.31						
SOUS-TOTAL:			218	206	348	772										1.56	3.96	5.51
MOYENNE:							0.55	1.39	1.93	1.01	2.67	3.68						
GRAND TOTAL			708	639	910	2257										5.06	11.07	16.12

PROJET: CABANO

SIMULATION: 1 (1 PORTEUR, 2 DEB. CABLE, 2 CAMIONS)

DATE: 25/05/82

OCCUPATION DES MACHINES

VALEURS MOYENNES PAR JOUR POUR 3 JOURS

MACHINE			TEMPS PRODUCTIF			ATTENTE		DELAIS		HEURES TRAV.		TAUX	TAUX	QUANTITE PRODUITE			
REF	FCT	MOD	ACT. A	ACT. B	ACT. C	CSE 1	CSE 2	MECA.	AUTRE	MACH.	HOMME	UTILI	DISPO	ACT. A	ACT. B	ACT. C	COUTS
														(T V)	(T V)	(T V)	($)
DEBARDEUSE(S)																	
1	1	1	8.30	0.66				0.82		9.77	10.0	92	92	57	5		298.92
2	1	2	6.15	0.58	1.13			1.60		9.47	9.7	83	83	30	3	12	237.11
3	1	2	7.05	0.42	0.55			1.43		9.45	9.7	85	85	34	2	6	238.65
MOYENNE			7.17	0.55	0.56			1.28		9.56	9.8			40	3	6	258.23
POURCENTAGE			75	6	6			13		100		87	87				
DECHIQUETEUSE																	
4	2	1	5.79	0.50		0.72	1.66	0.38	0.22	9.26	9.3	68	96	140	1		755.95
POURCENTAGE			63	5		8	18	4	2	100		68	96				
CAMION(S)																	
5	3	1	3.48	6.11		0.25	0.46	0.72		11.06	11.3	87	93	84	84		444.26
6	3	1	2.31	4.43		0.37	0.25	0.40	1.24	9.00	9.0	75	96	56	56		350.06
MOYENNE			2.89	5.27		0.31	0.36	0.57	0.62	10.03	10.2			70	70		397.16
POURCENTAGE			29	53		3	4	6	6	100		81	94				

	ATTENTE CAUSE 1	ATTENTE CAUSE 2
DEBARDEUSE	SURPLUS DE BOIS A LA DECHIQUETEUSE	NE S'APPLIQUE PAS
DECHIQUETEUSE	MANQUE DE BOIS	PAS DE CAMION
CAMION	DECHIQUETEUSE EST OCCUPEE	MANQUE DE BOIS

PROJET: CABANO

SIMULATION: 1 (1 PORTEUR, 2 DEB. CABLE, 2 CAMIONS)

DATE: 25/05/82

VENTILATION DES COUTS

VALEURS MOYENNES PAR JOUR POUR 3 JOURS

MACHINE			DEPENSES PAR JOUR				COUTS PAR TONNE VERTE									COUTS PAR TONNE VERTE DECHIQUETE(E)		
				MACHINE			ACTIVITE A			ACTIVITE B			ACTIVITE C					
REF	FCT	MOD	MAIN OEUVRE	PROF.	OPER.	TOTAL	M. O.	MACH.	TOTAL	M.-O.	MACH.	TOTAL	M. O.	MACH.	TOTAL	M.-O.	MACH.	TOTAL
DEBARDEUSE(S)																		
1	1	1	112	72	115	299	1.82	3.02	4.85	1.77	2.93	4.70						
2	1	2	108	49	80	237	2.81	3.37	6.18	2.67	3.20	5.87	1.29	1.55	2.84			
3	1	2	108	49	82	239	2.79	3.38	6.16	2.83	3.44	6.27	1.24	1.51	2.75			
SOUS-TOTAL:			328	170	277	775												
MOYENNE:							2.34	3.21	5.55	2.27	3.12	5.39	1.28	1.54	2.81	2.34	3.19	5.53
DECHIQUETEUSE																		
4	2	1	195	263	298	756	1.28	3.69	4.97	15.52	44.58	60.10				1.39	4.01	5.40
CAMION(S)																		
5	3	1	130	103	211	444	0.56	1.36	1.92	0.99	2.38	3.37						
6	3	1	99	103	148	350	0.60	1.54	2.14	1.16	2.95	4.11						
SOUS-TOTAL:			229	206	359	794												
MOYENNE:							0.58	1.43	2.01	1.06	2.61	3.67				1.64	4.04	5.67
GRAND TOTAL			752	639	934	2325										5.37	11.23	16.61

PROJET: CABANO

SIMULATION: 1 (1 PORTEUR, 2 DEB. CABLE, 2 CAMIONS)

DATE: 27 MAI 1982

STATISTIQUES DE PRODUCTION

NOMBRE DE JOURS SIMULES: 3

VARIABLES	NB OBS.	MOYENNE	EC. TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
ATTENTE DES CAMIONS CAUSEE PAR LA DECHIQUETEUSE	3	37.40	28.93	8.93	66.76
ATTENTE DE LA DECHIQUETEUSE CAUSEE PAR LES CAMIONS	12	24.86	23.98	5.21	89.81
ATTENTE DE LA DECHIQUETEUSE CAUSEE PAR LE DEBARDAGE	25	5.17	3.98	0.08	13.81
ATTENTE DES DEBARDEUSES					
QUANTITE DECHIQUETEE PAR JOUR EN TONNES VERTES	3	140.00		140.00	140.00
COUT QUOTIDIEN PAR UNITE DECHIQUETEE	3	16.61	0.46	16.12	17.04

4.1 Remarques sur l'exemple présenté

Le module de calcul des coûts a permis d'estimer les coûts de propriété (dépenses annuelles) et les coûts d'opération (dépenses courantes) des machines simulées dans le module de simulation. C'est ainsi que pour la déchiqueteuse on a employé dans la simulation un coût de propriété de 263,00 $ par jour (estimé à 263,44 $ par le module de calcul) et un coût d'opération de 47,35 $ par heure productive (estimé à 47,33 $).

Le module de calcul estime aussi le coût de production par unité produite (tonne verte dans notre exemple), soit 5,18 $ pour la déchiqueteuse. Les coûts obtenus par le module de simulation sont sujets à différer puisque le taux d'utilisation découlant de la simulation est rarement égal à celui employé pour les calculs et que la productivité des machines fluctue au cours de la simulation. Dans ce cas-ci, le coût de déchiquetage obtenu par simulation est de 5,40 $ par tonne verte (voir tableau "Ventilation des coûts" pour les trois jours simulés), soit 0,22 $ ou 4 % de plus. De ces deux estimations, c'est celle obtenue par simulation qui est la plus fiable.

Le taux d'utilisation de la déchiqueteuse a été de 68 % par simulation comparativement à la valeur de 65 % utilisée dans les calculs. La productivité moyenne a été de 22,3 tonnes vertes par heure productive [140 (5,79 + 0,50)] comparativement à 24 tonnes vertes.

Les mêmes comparaisons pourraient être faites pour les autres machines.

Examinons maintenant chacun des rapports du module de simulation afin d'en dégager les principales conclusions.

Trace

On ne présente que le début de la trace de la première journée. On remarque sur la partie reproduite ce qui suit:

- La déchiqueteuse est prête à travailler à l'heure 70,42 (CHGCOU) et le premier camion arrive à l'heure 78,39 (ARCAM).

Elle a attendu 7,97 minutes; il semble que l'horaire du premier camion et de la déchiqueteuse soient bien coordonnés. L'examen de la suite de la trace (non présentée) révèle que ce camion a quitté la déchiqueteuse à l'heure 139,53 et que le deuxième camion est arrivé à l'heure 106,56. Cette fois, la déchiqueteuse a attendu 21,03 minutes. Il y aurait lieu d'avancer l'heure de départ du deuxième camion de quinze minutes d'autant plus que ce deuxième camion perd plus d'une heure à la fin de la journée faute d'avoir suffisamment de temps pour effectuer un troisième voyage (voir tableau "Occupation des machines" colonne "Délais-Autre").

- Un peu après que le déchiquetage eut commencé, une débardeuse a été affectée à l'approche du bois en réserve au site de déchiquetage. La première charge ainsi approchée arrive à la déchiqueteuse au temps 101,04 (APPROCHE); c'est la débardeuse n°3, modèle 2 qui est affectée à cette tâche.

- A l'heure 128,77, le déchiquetage du bois sur place est terminé (DECHI); la déchiqueteuse et le camion sont mis en attente (code d'activité 10, heure négative); cette attente sera de très courte durée puisque la débardeuse 3, affectée à l'approche, arrive à l'heure 129,27; la suite de la trace (non présentée) montre qu'il ne se produit pas d'autre manque de bois au cours de la fin du chargement de ce camion. Il semble que trois débardeuses arrivent difficilement à fournir la déchiqueteuse; les prochains tableaux nous permettront de vérifier si la capacité de débardage est adéquate.

Occupation des machines - valeurs du jour 1:

Les colonnes sur le temps productif des débardeuses nous apprennent que celles-ci ont consacré:

- 79 % de la journée de travail à débarder du bois de la souche à la déchiqueteuse (ACT. A);

- 2 % de la journée à débarder du bois de la souche à l'empilement de réserve du site de déchiquetage (ACT. B);

- 9 % de la journée à approcher du bois de l'empilement de réserve à la déchiqueteuse (ACT. C).

Les colonnes intitulées "Quantité produite" montrent que 121 tonnes vertes (60 + 29 + 32) ont été débardées de la souche directement à la déchiqueteuse (ACT.A), que 4 tonnes vertes (2 + 2) ont été ajoutées à l'empilement de réserve (ACT. B) et que 29 tonnes vertes (11 + 18) ont été remaniées de l'empilement de réserve à la déchiqueteuse (ACT. C) L'empilement de réserve qui contenait 25 tonnes vertes au début de la journée (BIOR) est donc épuisé.

La déchiqueteuse a consacré 62 % de la journée au déchiquetage (ACT.A) et 6 % aux changements de couteaux (ACT.B). La biomasse produite a été de 140 tonnes vertes pour une productivité moyenne de 23,1 tonnes vertes par heure productive [140 : (5,57 $\pm$ 0,50)].

Les pertes de temps par attente sont de 1,85 heures, soit 21 % de la journée, dont 1 % à cause d'un manque de bois et 20 % à cause de l'absence de camions. Il n'y a donc pas lieu d'augmenter le nombre de débardeuses d'après les résultats de cette journée. Un délai d'opération de 0,65 heure (7 %) a lieu à la fin de la journée dû au fait que le chargement du dernier camion prend fin à ce moment (colonne "Délais-Autre"). L'ensemble de ces pertes de temps abaisse le taux d'utilisation de la déchiqueteuse à 67 % alors que le taux de disponibilité est de 95 %.

Les renseignements sur les camions montrent que ceux-ci occupent 29 % de la journée au chargement (ACT. A) et 54 % à la livraison de leur charge pour un taux d'utilisation de 83 %.

Les camions perdent très peu de temps par attente, soit 3 %; seul le camion qui a commencé le plus tôt a attendu.

Le premier camion a livré trois voyages (84 : 28) et a dû travailler en temps supplémentaire. Par contre, le deuxième camion n'a livré que deux voyages (56 : 28) et a terminé sa journée 1,70 heure plus tôt que prévu. Le temps moyen pour charger et livrer un voyage a été de 3,16 heures productives pour une productivité moyenne de 8,86 tonnes vertes par heure productive (28 : 3,16) comparativement à 10,15 tonnes vertes estimées par le module de calcul.

Afin de mieux évaluer cette opération, étudions le tableau d'occupation des machines pour toute la période simulée.

Occupation des machines - valeurs moyennes par jour

On remarque que la répartition du temps productif des débardeuses entre les activités A, B et C est restée pour toute la période simulée sensiblement la même que pour la première journée, soit 75 %, 6 % et 6 % comparativement à 79 %, 2 % et 9 %. Il est normal que l'on observe une diminution relative du temps consacré à l'activité C (approche du bois) puisqu'à la fin de la première journée la quantité de biomasse en réserve était épuisée.

Le travail en temps supplémentaire des débardeuses au cours de la première journée a été moindre que la moyenne pour les trois jours simulés.

L'examen des colonnes sur la quantité produite montre qu'au cours de la période simulée, 363 tonnes vertes [(57 + 30 + 34) x 3] ont été débardées directement de la forêt à la déchiqueteuse et que 30 tonnes vertes [(5 + 3 + 2) x 3] ont dû être mises en réserve et remaniées, soit 7,6 % (30 : (363 + 30)] de la masse totale débardée. Cette quantité n'apparaît pas excessive; elle augmente le coût moyen du débardage de 0,21 $ par tonne verte, soit le coût moyen du remaniement, 2,81 $ par tonne verte (voir tableau de ventilation des coûts), multiplié par le pourcentage remanié, c'est-à-dire 7,6 %.

On peut éviter ce coût additionnel en laissant les débardeuses en attente lorsqu'il n'y a plus de place à portée de la déchiqueteuse;

cependant, n'ayant pas de réserve au site de déchiquetage, les pertes de temps de la déchiqueteuse à cause d'un manque de bois seraient plus élevées et entraîneraient une hausse de coût du déchiquetage et du camionnage. La simulation de ce mode d'opération permettrait de déterminer laquelle des deux façons d'opérer est la plus avantageuse.

Le taux d'utilisation de la déchiqueteuse pour les trois jours simulés a été de 68 % comparativement à 67 % pour la première journée; au niveau du temps productif, il n'y a donc pas de changement significatif.

La répartition des temps improductifs est cependant totalement différente. On a en moyenne 8 % d'attente pour manque de bois comparativement à 1 % au cours de la première journée. La présence de 25 tonnes vertes de biomasse en réserve au site de déchiquetage au début de la première journée n'est pas étrangère à cette différence. Le temps d'attente causé par l'absence de camions est à peu près le même, soit 18 % comparativement à 20 %. Les délais mécaniques sont semblables, tandis que la classe "Autre" indique une diminution de 5 %, soit 7 % pour la première journée comparativement à 2 % pour toute la période simulée. Ceci est conséquent avec l'augmentation des pertes par attente puisque plus il y a d'attente plus la déchiqueteuse finit tard. D'ailleurs, on remarque la présence de travail en temps supplémentaire pour la déchiqueteuse.

Les deux camions ont effectué le même nombre de voyages chaque jour, soit trois pour le camion commençant le plus tôt et deux pour l'autre. Le temps d'attente causé par la déchiqueteuse est demeuré le même, soit 3 %; tandis que l'attente causée par le manque de bois est passée de 0 à 4 %. Les délais en fin de journée ont été réduits, passant de 9 à 6 %. Seul le deuxième camion, qui ne livre que deux voyages par jour, termine son travail avant l'heure. Le premier camion, par contre, doit travailler en temps supplémentaire pour livrer trois voyages.

L'examen des deux tableaux sur l'occupation des machines (jour 1 et toute la période simulée) indique que la capacité de débardage est assez

bien équilibrée avec la capacité de déchiquetage. En effet, la déchiqueteuse a perdu en moyenne 0,72 heure par jour par manque de bois, et d'autre part 7,6 % de la biomasse débardée n'a pu être déposée directement à la déchiqueteuse. Les pertes de temps de la déchiqueteuse par manque de bois auraient été un peu plus élevées si la quantité de biomasse en réserve (BIOR) au début de la simulation avait été plus faible ou nulle.

Du côté des camions, la seule amélioration pratique semble l'avancement de l'heure du début de la journée du deuxième camion. Ceci aurait pour effet de réduire quelque peu les pertes de temps de la déchiqueteuse causées par l'absence de camion et celles du premier camion causées par le fait que la déchiqueteuse soit occupée à charger l'autre camion. Le deuxième camion par contre perdrait plus de temps à attendre la déchiqueteuse mais ceci n'aurait aucune conséquence sur sa productivité et sur ses coûts puisque son temps non utilisé à la fin de la journée (colonne "Délais-Autre") serait diminué.

Le deuxième camion ne peut effectuer un troisième voyage sans causer une augmentation considérable du travail en temps supplémentaire des débardeuses et de la déchiqueteuse, sauf peut-être si une quatrième débardeuse était ajoutée de façon à réduire les pertes de temps par manque de biomasse. Cette quatrième débardeuse entraînerait cependant une augmentation de la double manutention de la biomasse (activités B et C).

Ventilation des coûts

Les tableaux sur la ventilation des coûts (jour 1 et période simulée) permettent de constater le coût de chaque activité et de connaître la répartition des coûts entre la main-d'oeuvre et la machinerie.

Il faut noter ici que le coût du débardage par tonne verte déchiquetée est sous-estimé puisqu'il n'inclut pas le coût du débardage primaire de la biomasse en réserve au début de la simulation (25 tonnes vertes). Ceci justifie une hausse du coût moyen du débardage de 0,33 $ par tonne verte déchiquetée. On calcule cet ajustement comme suit:

- coût du débardage primaire de 25 tonnes vertes: 25 x 5,55 $ (coût moyen du débardage) = 138,75 $;
- coût à la tonne verte déchiquetée 138,75 $: (140 x 3) = 0,33 $.

Si la quantité de biomasse en réserve à la fin de la simulation avait été sensiblement égale à celle du début, il n'y aurait pas eu lieu de faire cet ajustement. De même, si la période simulée avait été plus longue (une dizaine de jours), l'ajustement deviendrait négligeable.

Si des changements sont apportés aux machines ou au mode d'opération et que la simulation est reprise, ces tableaux permettront de comparer les coûts obtenus dans chaque cas et d'identifier les éléments à la hausse et à la baisse.

Statistiques de production

Ce tableau nous apprend que l'attente des camions causée par la déchiqueteuse n'a pas été fréquente (trois fois en trois jours), mais qu'elle a varié fortement, soit de 8,93 minutes à 66,76 minutes. En faisant partir le deuxième camion plus tôt, on risque d'augmenter la fréquence des attentes, mais de diminuer leur durée moyenne.

L'attente de la déchiqueteuse causée par les camions a été beaucoup plus fréquente (douze fois en trois jours) et sa durée a aussi largement varié, soit de 5,21 minutes à 89,81 minutes.

Puisqu'à chaque voyage, le camion attend que la déchiqueteuse soit libre, ou que la déchiqueteuse attend que le camion arrive, la fréquence totale de ces deux types d'attente est égale au nombre de voyages livrés (quinze dans ce cas-ci). D'autre part, le temps de chargement d'un camion, 1,16 heure dans notre exemple (2,89 ÷ 2,5), étant plus long que le temps de livraison, 2,11 heures (5,27 : 2,5), il est normal que la déchiqueteuse attende plus souvent que les camions. L'écart entre le temps de chargement et le temps de livraison d'une charge de camion semble insuffisant pour justifier l'emploi d'un troisième camion.

L'attente de la déchiqueteuse causée par le débardage s'est produite 25 fois au cours des trois jours et a duré en moyenne 5,17 minutes variant de moins d'une minute (0,08) à 13,81 minutes. Ces quantités indiquent que la capacité de débardage est marginale et devrait être légèrement haussée, de façon à réduire ces attentes et à éliminer une partie du travail en temps supplémentaire.

L'attente des débardeuses est nulle puisque le mode d'opération choisi exclut cette possibilité.

Le nombre de tonnes vertes déchiquetées par jour a été de 140 et n'a pas beaucoup varié comme l'indiquent les valeurs minimales et maximales.

La moyenne quotidienne par unité déchiquetée a été de 16,61 $ et a varié de 16,12 $ à 17,04 $. A partir de l'écart-type, on peut estimer que la simulation de 10 jours d'opération permettrait d'évaluer le coût moyen de déchiquetage à 0,32 $ près, soit une précision de l'ordre de 2 %.

4.2 Conclusions

Cet exemple donne un aperçu de la quantité de renseignements qui sont fournis par la simulation et montre comment ces renseignements peuvent servir à comprendre le déroulement de l'opération de récolte de la biomasse et à identifier ses faiblesses.

Les résultats de simulation discutés aux pages précédentes suggèrent les simulations additionnelles suivantes:

1- la reprise de l'exemple après modification de l'heure de départ du deuxième camion, soit 70 minutes après le premier au lieu de 90 minutes, et l'élimination de la réserve de biomasse (BIOR) au début de la simulation;

2- l'utilisation de deux débardeuses de modèle 1 (porteur) et d'une de modèle 2 afin d'augmenter la productivité du débardage sans augmenter le nombre de machines;

3- l'addition d'une quatrième débardeuse;

4- l'addition d'un troisième camion.

CHAPITRE 5

USAGES ET LIMITATIONS DE LA SIMULATION

La façon d'utiliser le modèle de simulation de la récolte de la biomasse a été abondamment décrite aux chapitres précédents. De plus ses nombreuses applications pour la planification des opérations ont été mises en évidence. Ce chapitre, en plus de traiter de son utilisation comme outil de formation, fait état de ses limitations.

5.1 La simulation comme outil de formation

Le modèle de simulation présenté dans ce rapport, en plus d'aider à la planification des exploitations de mise en copeaux de la biomasse, peut servir à la formation des contremaîtres qui auront à diriger de telles opérations.

En effet, dans le cadre d'un cours de formation, on peut soumettre aux étudiants les résultats de la simulation d'opération mal agencée et leur demander, suite à l'analyse de ces données, d'apporter des correctifs. Leurs suggestions peuvent rapidement être évaluées par le modèle de simulation et leurs effets démontrés. En procédant à partir de cas simples et en augmentant les difficultés graduellement, le futur contremaître acquiert rapidement une bonne compréhension des interactions de chaque phase de l'opération et de leur effet sur les coûts. La résolution des problèmes soumis lui confère une expérience valable, difficile et coûteuse à acquérir sur le terrain. Un tel enseignement aurait l'avantage de le familiariser avec le modèle de simulation et de l'inciter à y avoir recours lorsque confronté à une décision difficile dans son travail de tous les jours.

5.2 Limitations de la simulation

Le modèle de simulation de la récolte de la biomasse ne permet d'étudier qu'une partie de l'opération de récolte, soit celle dont l'analyse est plus complexe à cause de l'interaction des machines impliquées. Il faut pour compléter la comparaison des options analyséees par simulation, ajouter

le coût des opérations non simulées. Il s'agit habituellement des opérations suivantes:

- l'abattage;
- le débardage dans certains cas;
- les frais de préparation et d'accès au site de travail;
- les coûts de déménagement d'un site à l'autre;
- les coûts d'administration et de surveillance de l'opération.

Il peut arriver par exemple que l'utilisation de quatre débardeuses assure un approvisionnement continu de la déchiqueteuse et réduise les coûts au minimum mais que le gain par rapport à l'utilisation de trois débardeuses ne soit quand même pas suffisant pour couvrir les frais de déménagement d'une quatrième débardeuse surtout si les quantités exploitées à chaque endroit sont faibles.

Dans un autre cas, il se peut que l'opération de la déchiqueteuse de façon mobile le long d'un empilement d'arbres s'avère la meilleure méthode, mais que des contraintes d'espace au site d'exploitation excluent cette option; ou encore que les travaux de préparation du site pour un tel mode d'opération soient supérieurs aux économies réalisables.

Nous donnons en appendice les éléments à considérer pour évaluer les coûts de préparation du site et de déménagement des équipements. Ces renseignements doivent servir de guide puisque les contraintes d'accessibilité à chaque site sont tellement variables que chaque endroit doit être évalué à son mérite par une personne d'expérience.

Il demeure qu'une exploitation faisant appel à autant d'équipement que la mise en copeaux d'arbres entiers est d'autant plus favorisée que la quantité de biomasse récoltée à chaque endroit est abondante et que les sites d'exploitation sont rapprochés les uns des autres.

Il n'est pas suffisant que le modèle de simulation reproduise fidèlement les activités de machines pour que son usage donne des résultats

valables; il faut en plus que la durée des activités et la production des machines qui servent à la simulation soient connues avec suffisamment de précision.

A défaut d'une base de référence fiable, la simulation peut quand même fournir des renseignements utiles sur certains aspects de l'opération. Par exemple, elle peut servir à vérifier le nombre de débardeuses à employer pour fournir une déchiqueteuse même si on est incertain de la productivité de ces deux types de machine. Dans ce cas, on répète la simulation plusieurs fois en faisant varier la productivité des machines autour des valeurs les plus probables. Le nombre de débardeuses à employer sera celui qui s'est avéré satisfaisant sous le plus grand nombre d'hypothèses de productivité. Il faut retenir que, dans ces circonstances, les coûts de production obtenus sont beaucoup plus imprécis que lorsque la productivité des machines est connue.

5.3 Conclusions

La simulation par son aptitude à reproduire fidèlement une opération permet par une série d'expérimentations d'étudier et de comprendre cette opération à un coût très faible comparativement aux coûts d'expérimentation sur le terrain lui-même. Elle constitue un outil puissant et souple de planification, d'expérimentation et d'enseignement.

APPENDICE 1

GUIDE POUR L'ÉVALUATION DES COÛTS DE PRÉPARATION DU SITE ET DE DÉMÉNAGEMENT DES ÉQUIPEMENTS

Évaluation des coûts de préparation du site

Un tracteur sur chenilles d'une puissance de 100 à 140 H.P. est suffisant pour préparer l'accès au site pour la majorité des lots boisés privés. Il suffit généralement de dégager le sol minéral, de le niveler et d'assurer un bon égouttement du site de travail choisi. Dans les cas où une partie du lot est en culture, il pourrait être nécessaire d'améliorer le chemin d'accès à la forêt pour permettre la circulation d'une semi-remorque.

Nous estimons que de quatre à cinq heures de travail suffisent dans la majorité des cas.

Le coût d'opération du tracteur peut être calculé à l'aide du module de calcul du modèle de simulation. Il est de l'ordre de 35,00 $ par heure.

Évaluation des coûts de déménagement

Le déménagement des machines peut être fait par un des camions affecté au transport des copeaux en remplaçant sa semi-remorque par un fardier.

Le déménagement de chaque machine prendra d'une heure et demie à deux heures au camion et causera un arrêt de production de l'ordre d'une heure à la machine déménagée.

Les coûts applicables au camion affecté au déménagement s'obtiennent par la multiplication du temps requis pour le déménagement d'une machine, par le nombre de machines à déménager et par le coût horaire d'opération du camion incluant le coût de l'opérateur.

Au coût du camion, il faut ajouter le coût de la perte de production des machines déménagées. Nous évaluons le coût de cette perte de production au salaire des opérateurs pour le temps où la machine est arrêtée puisqu'il n'y a pas de dépenses d'opération pendant ce temps.

Le déménagement des équipements faisant partie de l'exemple du chapitre 4, peut être évalué comme suit, en supposant que le déménagement de chaque machine requiert 2 heures au camion et fait perdre une heure de production à chaque machine:

Temps total où le camion est affecté au déménagement: 9 heures
soit: - deux heures pour chaque débardeuse: 6 heures
- deux heures pour la déchiqueteuse: 2 heures
- un demi-voyage pour la semi-remorque: 1 heure

Coûts pour ce camion:

- coûts de propriété (une journée)	103,00 $
- coûts d'opération: 22 $/h prod. x 9 h prod.	198,00 $
- opérateur: 9 $/h x 9 h x 1,22 (Bén. marg.)	99,00 $
	400,00 $

Coûts de la perte de production:

- temps par machine: 1 heure
- nombre de machines à déménager: 4
- coûts: 4 h x 9,00 $/h x 1,22 (Bén. marg.): 43,92 $
- coûts arrondis 44,00 $

Grand total 444,00 $

La biomasse récoltée par site variant de 200 à 800 tonnes vertes dans le cas d'opérations sur terrains privés, le coût du déménagement peut devenir un élément assez important.

Il est à remarquer qu'aucun coût de déménagement n'est considéré pour le camion qui ne participe pas au déménagement. En effet, on assume que celui-ci complètera son dernier voyage à l'ancien site et reviendra au nouveau site sans déranger son cycle normal de travail.

APPENDICE 2

PRÉSENTATION DU PROGRAMME DU MODULE DE CALCUL "CALCULCOUT"

1. Définition du programme du module de calcul et de ses fonctions

Le module de calcul est en mémoire sur ordinateur dans le bloc "CALCULCOUT" et son programme principal s'appelle "CALCOUT". Il est composé de nombreuses fonctio qui peuvent être regroupées comme suit:

- fonctions de lecture: ces fonctions servent à entrer sur ordinateur les données des formulaires d'entrée et à exécuter les corrections par la suite;
- fonctions de vérification: ces fonctions présentent les données en mémoire sous un format identique à celui des formulaires;
- fonctions de calcul: ces fonctions exécutent les calculs;
- fonctions de présentation des résultats: ces fonctions présentent les résultats du module de calcul.

1.1 Définition des fonctions de lecture

LECTURE: fonction pour l'entrée et la correction des données des formulaires "Renseignements d'application générale", "Données propres à chaque engin d'exploitation" et "Données propres à chaque camion";

CREA: fonction appelée par LECTURE permettant d'entrer les données présentées sous forme de tableau.

1.2 Définition des fonctions de vérification

VÉRIFICATION: fonction qui présente les données en mémoire sous un format identique à celui des trois formulaires;

CORRECTION: fonction qui donne la marche à suivre pour procéder à la correction des données erronées.

1.3 Définition des fonctions de calcul

UNIFR: fonction qui uniformise, c'est-à-dire qui ramène sous forme unique, les entrées qui pouvaient être spécifiées de plusieurs façons;

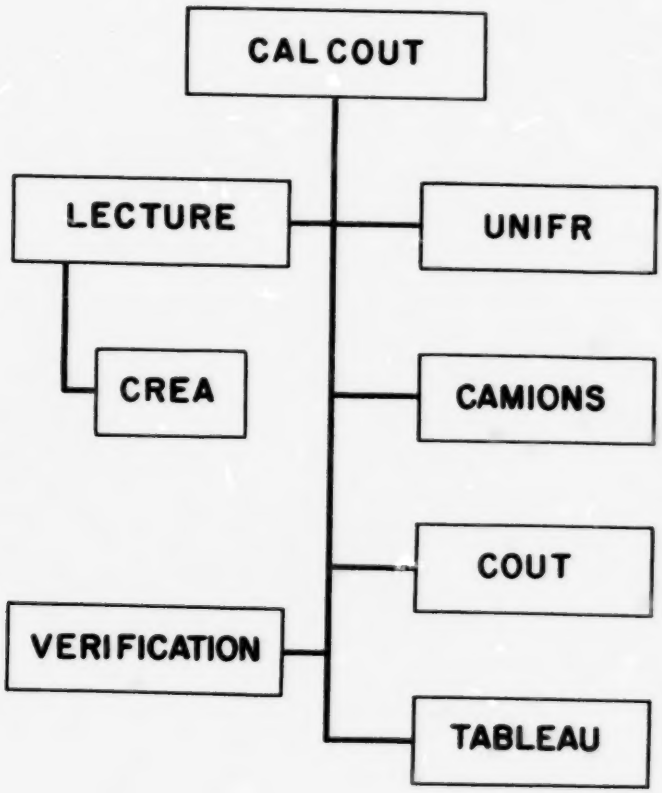
CAMIONS: fonction qui exécute des calculs particuliers aux camions;

COUT: calcul du coût d'opération de toutes les machines.

1.4 Définition des fonctions de présentation des résultats

TABLEAU: fonction qui présente les résultats du module de calcul sur un ou plusieurs tableaux de format 21,6 x 28 cm. Chaque tableau peut contenir les résultats de six machines.

2- PRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DU PROGRAMME CALCOUT



3- LISTE DU PROGRAMME DU MODULE "CALCULCOUT"

PROGRAMME PRINCIPAL DU MODULE CALCULCOUT :

```
    ▼ CALCOUT
[1]   ⍝ PROGRAMME DE CONTROLE
[2]   PHASE
[3]   '----->  ',NLF
[4]   →(4<A←∈⎕)/0
[5]   →(3=A)/EXEC
[6]   ∈(3↓(PHASE[A;]))
[7]   →2
[8]   EXEC:UNIFR
[9]   CAMIONS
[10]  COUT
[11]  'AJUSTEZ LE PAPIER A LA DERNIERE LIGNE ET FAITES RETURN'
[12]  Z←⎕
[13]  TABLEAU
    ▼
```

FONCTIONS DE LECTURE :

```
    ▼ LECTURE;LD;N;NC;X
[1]   ⍝    MODULE DE SAISIE DES DONNEES
[2]   ⍝    SELON LES TROIS FORMULAIRES DE BASE
[3]   ⍝
[4]   ⍝    CE MODULE PERMET EGALEMENT
[5]   ⍝    LA CORRECTION DES DONNEES
[6]   ⍝
[7]   '1- GENERAL    2- ENGINS D''EXPLOITATION    3- CAMIONS    4- TOUS'
[8]   'VOTRE CHOIX ----> ',⍞
[9]   LD←∈⍎⍞
[10]  →(~((1∈LD)∨(4∈LD)))/BR2
[11]  TR[1;]
[12]  'VALEURS  PRESENTES: ';RENG
[13]  'ENTREZ LES 19 VALEURS SUR UNE  SEULE  LIGNE  (FAITES RETURN POUR LES
       MEMES) '
[14]  →(0=⍴X←⍎⍞)/BR2
[15]  RENG←19↑∈X
[16]  BR2:→(~((2∈LD)∨(4∈LD)))/BR1
[17]  2 1⍴' '
[18]  TR[2;]
[19]  N←RENG[18]
[20]  'INDIQUEZ LE NOMBRE DE COLONNES REQUISES (RETURN SI = ';N;' )'
[21]  →(0=⍴NC←⍎⍞)/C1
[22]  N←∈NC
[23]  C1:ENGEX←(23,1↑N)CREA ENGEX
[24]  BR1:→(~((3∈LD)∨(4∈LD)))/0
[25]  2 1⍴' '
[26]  TR[3;]
[27]  N←RENG[19]
[28]  'INDIQUEZ LE NOMBRE DE COLONNES REQUISES (RETURN SI = ';N;' )'
[29]  →(0=⍴NC←⍎⍞)/C2
[30]  N←∈NC
[31]  C2:→(0≠N)/CONT
[32]  CAM←26 0⍴0
[33]  'AUCUNE DONNEE N''EST REQUISE'
[34]  →0
[35]  CONT:CAM←(26,N)CREA CAM
    ▼
```

```
    ▼ R←A CREA B;RO;C;DR;D
[1]   ⍝   SOUS-MODULE DE SAISIE DES DONNEES
[2]   ⍝   SOUS FORME DE MATRICES,
[3]   ⍝   APPELE PAR LE MODULE "LECTURE"
[4]   ⍝
[5]   B←A↑B
[6]   '(P)RECEDENT    (S)AUT    (T)ERMINE'
[7]   'LIGNE     COORDONNEES'
[8]   C←0
[9]   RO←1↑⍴B
[10]  BR:C←C+1
[11]  NBR:'C←1'SI(C≤0)
[12]  'C←RO'SI(C>RO)
[13]  DR←C
[14]  (,('I3'⍕FMT C)),'        ';,B[C;]
[15]  (,('I3'⍕FMT C)),'        ',NLF
[16]  'C←C-2'SI('P'=1↑D←⍞)
[17]  'C←C-1'SI~(∨/(1↑D)='PST⍴\.¯ 1234567890')
[18]  'C←C+1'SI('S'=1↑D)
[19]  →(DR≠C)/BR
[20]  →('T'=1↑D)/FIN
[21]  →(~(∧/D∈'.¯ \⍴1234567890'))/NBR
[22]  →(0=⍴D)/CT
[23]  B[C;]←∈D
[24]  CT:→(C<RO)/BR
[25]  FIN:R←B
    ▼
```

FONCTIONS DE VERIFICATION :

```
    ▼ VERIFICATION;TD;T1;DATA;TX;MT;MX;C;LF;MXX;CAT
[1]   ⍝   MODULE REPRODUISANT LES TROIS FORMULAIRES DE BASE
[2]   ⍝   AFIN D'EN VERIFIER LA COHERENCE
[3]   ⍝
[4]   '1- GENERAL   2- ENGIN D''EXPLOITATION   3-CAMION    4- TOUS'
[5]   'INDIQUEZ LES TABLEAUX DESIRES'
[6]   DATA←3 5⍴'RENG ENGEXCAM  '
[7]   LF←30 17 17
[8]   CAT←3 6⍴1 7 16 0 0 0 1 3 9 12 19 23 1 3 9 12 0 23
[9]   MT←3 7⍴'MTRENG MTENGEXMTENGEX'
[10]  MX←3 7⍴'MXRENG MXENGEXMXCAM  '
[11]  TD←3↑0
[12]  'TD←⍳3'⍎⍨4=1↑TD
[13]  T1←1
[14]  0⍴⎕,⎕←'AJUSTEZ LE PAPIER'
[15]  BR3:→(~T1∈TD)/AT
[16]  5 1⍴' '
[17]  TR[T1;]
[18]  SL[T1;]
[19]  ' '
[20]  MXX←∈MX[T1;]
[21]  →(T1≠3)/CONT
[22]  →(0=¯1↑⍴CAM)/AT
[23]  MXX←(∈MX[2;])[⍳17;],[1]MXX
[24]  CONT:C←1
[25]  BR1:→(~C∈(CAT[T1;]))/BR2
[26]  ' '
[27]  (∈MT[T1;])[((CAT[T1;])⍳C);]
[28]  ((∈MT[T1;])[(CAT[T1;])⍳C;]⍳'.')⍴'-'
[29]  BR2:MXX[C;]←('BF8.2'⍕FMT(∈DATA[T1;]))[C;]
[30]  →((1↑⍴MXX)≥C←C+1)/BR1
[31]  ((LF[T1]),1)⍴' '
[32]  AT:→(3≥T1←T1+1)/BR3
    ▼
```

```
    ▼ CORRECTION
[1]   ⍝ MEMO DE LA PROCEDURE DE CORRECTION
[2]   '  POUR EFFECTUER UNE CORRECTION,'
[3]   'IL SUFFIT D''APPELER (VIA LE MENU) LE MODULE '
[4]   'DE LECTURE ET D''APPORTER LE(S) CHANGEMENT(S)'
[5]   'A(AUX) ITEM(S) APPROPRIE(S)'
    ▼
```

FONCTIONS DE CALCUL :

```
    ▼ UNIFR;Y;K
[1]   ⍝ PLACE A UN ENDROIT UNIQUE LES DONNEES PROVENANT DE CHOIX MULTIPLES
[2]   ENGCAM←ENGEX[⍳17;],CAM[⍳17;]
[3]   COPER←(28,¯1↑⍴ENGCAM)⍴0
[4]   ⍝ VALEUR RESIDUELLE
[5]   Y←(ENGCAM[4;]=0)/K←⍳¯1↑⍴ENGCAM
[6]   ENGCAM[4;Y]←RENG[5]
[7]   ENGCAM[4 8 13;]←ENGCAM[4 8 13;]÷100
[8]   ⍝ ASSURANCES
[9]   Y←(ENGCAM[9;]=0)/K
[10]  ENGCAM[9;Y]←10×ENGCAM[3;Y]×RENG[14]
[11]  ⍝ COUT DES PIECES
[12]  Y←(ENGCAM[13;]≠0)/K
[13]  ENGCAM[14;Y]←(×/[1]ENGCAM[3 13;Y])÷ENGCAM[6;Y]
[14]  Y←(ENGCAM[15;]≠0)/K
[15]  ENGCAM[14;Y]←ENGCAM[15;Y]÷×/[1]ENGCAM[7 8;Y]
[16]  Y←(ENGCAM[14;]=0)/K
[17]  ENGCAM[14;Y]←(÷/[1]ENGCAM[3 6;Y])×RENG[11]÷100
[18]  ⍝ DUREE DU PLAN D'ACHAT-LOCATION
[19]  Y←(ENGCAM[5;]=0)/K
[20]  ENGCAM[5;Y]←RENG[3]
[21]  ⍝ GAINS HORAIRES DES AIDES-OPERATEURS
[22]  Y←(ENGEX[20;]=0)/K←⍳¯1↑⍴ENGEX
[23]  ENGEX[20;Y]←RENG[7]
[24]  ⍝ GAINS HORAIRES DES OPERATEURS
[25]  Y←(ENGEX[22;]=0)/K
[26]  ENGEX[22;Y]←RENG[8]
[27]  ⍝ CAMIONNEURS
[28]  Y←(CAM[22;]=0)/⍳¯1↑⍴CAM
[29]  CAM[22;Y]←RENG[8]
    ▼
```

```
    ▼ CAMIONS;TEMPS
[1]   ⍝ CALCULS PROPRES AUX CAMIONS
[2]   TEMPS←CAM[26;]+2×÷/[1]CAM[24 25;]
[3]   PROD←CAM[23;]÷TEMPS
[4]   CARBUR←(2×÷/[1]CAM[24 18;])+CAM[26;]×(9 2)[RENG[17]]
[5]   CARBUR←CARBUR÷TEMPS
[6]   PNEUX←(×/[1]CAM[19 20;])÷1000×CAM[21;]
[7]   PNEUX←2×CAM[24;]×PNEUX÷TEMPS
    ▼
```

```
    ▼ COUT;Z;ZZ;Y
[1]   ⍝ CALCUL DU COUT D'OPERATION DE L'EQUIPEMENT▼
[2]   COPER[1 2 3 5;]←ENGCAM[1 2 7 3;]
[3]   COPER[4;]←ENGEX[8;],CAM[8;]
[4]   JOURS←⌈ENGCAM[7;]÷RENG[15]
[5]   VIE←⌊0.5+1000×ENGCAM[6;]÷+/[1]ENGCAM[7 8;]
[6]   ⍝ INVESTISSEMENT MOYEN
[7]   COPER[6;]←((ENGCAM[3;]×VIE+1)+(+/[1]ENGCAM[3 4;])×VIE-1)÷2×VIE
[8]   ⍝ AMORTISSEMENT
[9]   →(RENG[1]=1)/DEPUNFR
[10]  →(RENG[2]=1)/ACHLOC
[11]  COPER[7 8;]←0
[12]  →ASS
[13]  DEPUNFR:COPER[7;]←(ENGCAM[3;]×1000×(1-ENGCAM[4;]))÷VIE×JOURS
[14]  COPER[8;]←COPER[6;]×RENG[6]×10÷JOURS
[15]  →ASS
[16]  ACHLOC:Z←RENG[4]÷100
[17]  COPER[7;]←(1-ENGCAM[4;])×1000×ENGCAM[3;]×Z×ZZ←(Z+1)*ENGCAM[5;]
[18]  COPER[7;]←COPER[7;]÷JOURS×ZZ-1
[19]  COPER[8;]←0
[20]  ASS:COPER[9;]←(+/[1]ENGCAM[9 10 11;])÷JOURS
[21]  COPER[10;]←+/[1]COPER[9 7 8;]
[22]  COPER[11;]←COPER[10;]÷RENG[15]×ENGCAM[8;]
[23]  ⍝ DEPENSES COURANTES
[24]  COPER[12;]←ENGCAM[12;]×RENG[12]
[25]  COPER[13;]←ENGCAM[14;]
[26]  COPER[14;⌊RENG[18]]←0
[27]  COPER[14;RENG[18]+⌊RENG[19]]←PNEUX
[28]  COPER[15;]←RENG[13]×ENGEX[18;],CARBUR
[29]  COPER[16;]←+/[1]ENGCAM[16 17;]
[30]  COPER[17;]←+/[1]COPER[16 12 13 14 15;]
[31]  ⍝ MAIN D'OEUVRE
[32]  Z←1+RENG[10]÷100
[33]  COPER[19;⌊Y←¯1↑⍴ENGEX]←Z×100×(+/[1](×/[1]ENGEX[19 20;]),[0.5]×/[1]
      ENGEX[21 22;])÷ENGEX[8;]
[34]  COPER[19;Y+⌊(⍴CAM)[2]]←Z×100×÷/[1]CAM[22 8;]
[35]  COPER[21;]←+/[1]COPER[11 19 17;]
[36]  COPER[23;]←ENGEX[23;],PROD
[37]  COPER[18;]←COPER[19;]×Z←RENG[15]×ENGCAM[8;]
[38]  COPER[20;]←COPER[21;]×Z
[39]  COPER[22;]←COPER[23;]×Z
[40]  ⍝     COUT UNITAIRE
[41]  COPER[24 25 27 28;]←COPER[11 17 19 21;]÷COPER[4⍴23;]
[42]  COPER[26;]←+/[1]COPER[24 25;]
    ▼
```

FONCTION DE PRESENTATION DES RESULTATS :

```
    ▼ TABLEAU;I;F;N;NBM;Z;ZZ;R;RR
[1]   ⍝ PRESENTATION DES RESULTATS▼
[2]   PAGE[53;]←70↑(29⍴' '),'COUT PAR ',UNITEC[RENG[16];]
[3]   I←12 14 15 16 17
[4]   F←1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0 0 0
       0 1 1 0 1 0 1 0 1/20+⍳43
[5]   PAGE[(11+⍳6),F;⍳22]←TITRE
[6]   PAGE[50 51;1 2 3]←RFUNIT[2⍴RENG[16];]
[7]   NBM←1↑1↓⍴COPER
[8]   N←1
[9]   R1:Z←6⌊NBM
[10]  NBM←NBM-Z
[11]  PAGE[24 35 58 62;]←' '
[12]  PAGE[(11+⍳6),F;22+⍳48]←' '
[13]  PAGE[13;R←22+⍳8×Z]←,MACHC[COPER[2;RR←(6×N-1)+⍳Z];]
[14]  PAGE[I;R]←'BI8'⍟FMT COPER[1 3 4 5 6;RR]
[15]  PAGE[F;R]←'BF8.2'⍟FMT COPER[6+⍳22;RR]
[16]  PAGE[24;R]←(8×Z)⍴'   -----'
[17]  PAGE[35 58 62;]←PAGE[3⍴24;]
[18]  □←PAGE
[19]  N←N+1
[20]  →(NBM≠0)/R1
    ▼
```

AUTRE FONCTION :

```
    ▼ A SI B
[1]   →(⍳B×2)
[2]   0⍴∈A
    ▼
```

APPENDICE 3

PRÉSENTATION DU PROGRAMME DU MODULE DE SIMULATION "SIMULATION"

1. Définition du programme du module de simulation et de ses fonctions

Le module de simulation est en mémoire sur ordinateur dans le bloc "SIMULATION" et son programme principal s'appelle "SIMULE"; il agit par l'entremise de nombreuses fonctions qui peuvent être regroupées comme suit:

- fonctions de lecture: ces fonctions servent à entrer sur ordinateur les données des formulaires d'entrée; elles servent aussi à leur correction;
- fonctions de vérification: ces fonctions présentent les données en mémoire sous un format identique à celui des formulaires;
- fonctions de simulation: ces fonctions régissent les activités des machines simulées;
- fonctions de présentation des résultats: ces fonctions exécutent les calculs appropriés à la fin de chaque période de simulation et impriment les résultats sous forme de tableaux;
- fonctions de service: ces fonctions sont appelées par une ou plusieurs des fonctions précédentes et effectuent des opérations particulières telles que l'accumulation de statistiques.

1.1 Définition des fonctions de lecture

LECTURE: fonction principale de ce groupe de fonctions, elle permet de choisir le formulaire pour lequel on veut faire l'entrée ou la correction des données.

ALFA: fonction pour l'entrée ou la correction des données du formulaire "Description de l'opération simulée et des variables du milieu".

ALFA1: fonction pour l'entrée ou la correction des données du formulaire "Caractéristiques de cette simulation".

CREA: fonction qui permet l'entrée et la correction de données présentées sous forme de tableau; elle sert à l'entrée et à la correction des formulaires "Données pour chaque machine" et "Durée des activités en minutes".

1.2 Définition des fonctions de vérification

VERIF: fonction principale de ce groupe qui permet l'impression des données en mémoire sous un format identique à celui des formulaires. Cette fonction imprime le contenu du formulaire "Description de l'opération simulée et des variables du milieu".

SIM2: fonction qui imprime le contenu du formulaire "Caractéristiques de cette simulation".

SIM3: fonction qui imprime le contenu du formulaire "Données pour chaque machine".

SIM4: fonction qui imprime le contenu du formulaire "Durée des activités en minutes".

CORRIGE: fonction qui donne la marche à suivre pour procéder à la correction des données erronées.

1.3 Définition des fonctions de simulation

Ce sont les fonctions de simulation qui déterminent la suite logique et chronologique des activités des machines au cours de la période simulée.

DEBUT: fonction qui lance la première activité des machines au début de chaque journée simulée. C'est aussi elle qui contrôle la durée totale de la simulation et qui commande la présentation des tableaux à la fin de la période simulée en faisant appel au groupe de fonctions de présentation.

REAL: fonction qui assure l'ordre chronologique de réalisation des événements et qui fait appel à la fonction logique requise par l'événement réalisé. C'est aussi elle qui commande la présentation des rapports quotidiens lorsque requis.

DEBAR: fonction logique qui détermine ce que la débardeuse fait de sa charge lorsqu'elle arrive au site de déchiquetage.

CDEBAR: fonction logique qui détermine la prochaine activité d'une débardeuse.

APPROCHE: fonction logique qui contrôle les activités d'une débardeuse affectée à l'approche de la biomasse en réserve au site de déchiquetage.

BRDEBAR: fonction logique qui détermine la prochaine activité d'une débardeuse qui est redevenue disponible suite à un bris.

ARCAM: fonction logique qui détermine si un camion est mis en attente ou s'il procède au chargement lorsqu'il arrive au site de déchiquetage.

IDCAMAT: fonction qui permet d'identifier le camion qui a attendu le plus longtemps.

1.4 Définition des fonctions de présentation des résultats

RAPQ: fonction appelée lorsqu'un rapport quotidien est présenté pour la journée simulée. Cette fonction commande l'exécution des calculs nécessaires et l'impression des tableaux.

RAPF: fonction appelée à la fin de la simulation et qui commande l'exécution des calculs et l'impression des tableaux pour la période simulée.

CALPRECOU: fonction pour le calcul des coûts de production quotidiens de chaque machine.

OCCMAC: fonction qui compose et qui imprime les tableaux sur l'occupation des machines.

VENTCOU: fonction qui compose et qui imprime les tableaux sur la ventilation des coûts.

1.5 Définition des fonctions de service

CALSTAT: fonction appelée au cours de la simulation et qui accumule les données pour le tableau "Statistiques de production".

GENDUR: fonction utilisée pour générer la durée des activités au cours de la simulation. Elle fait appel aux fonctions appropriées à chaque type de distribution.

MOY: fonction pour générer la durée d'une activité d'après sa durée moyenne.

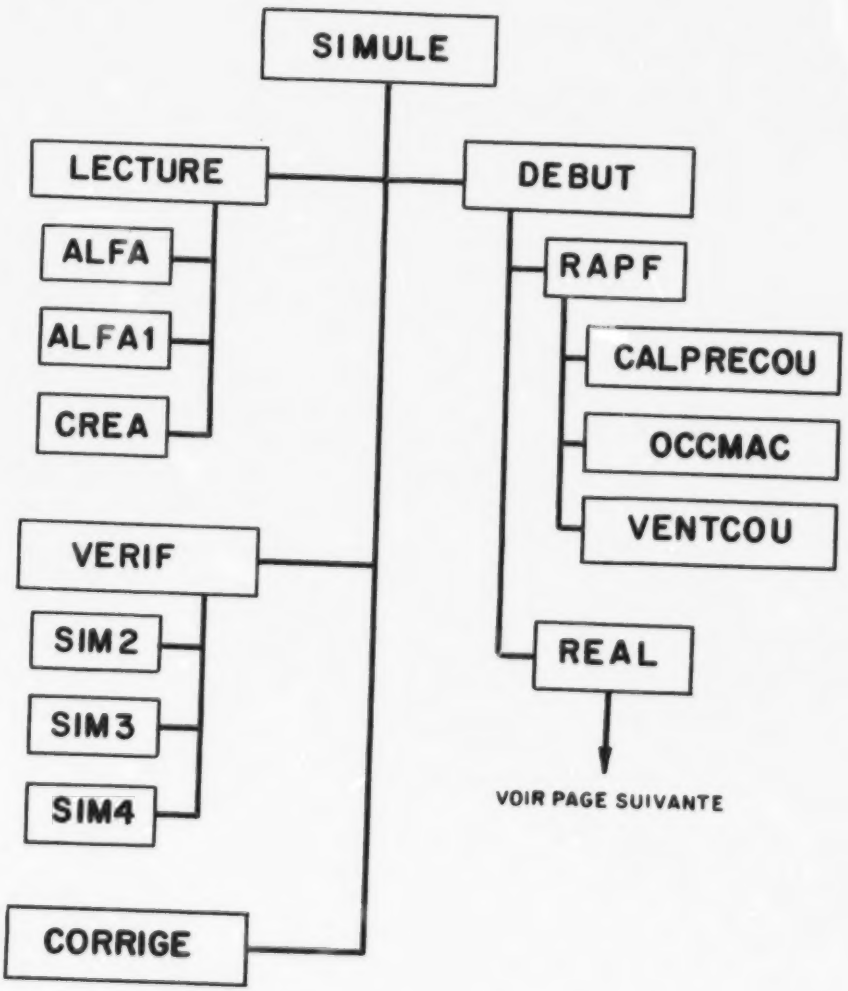
NRML: fonction pour générer la durée d'une activité d'après une distribution normale.

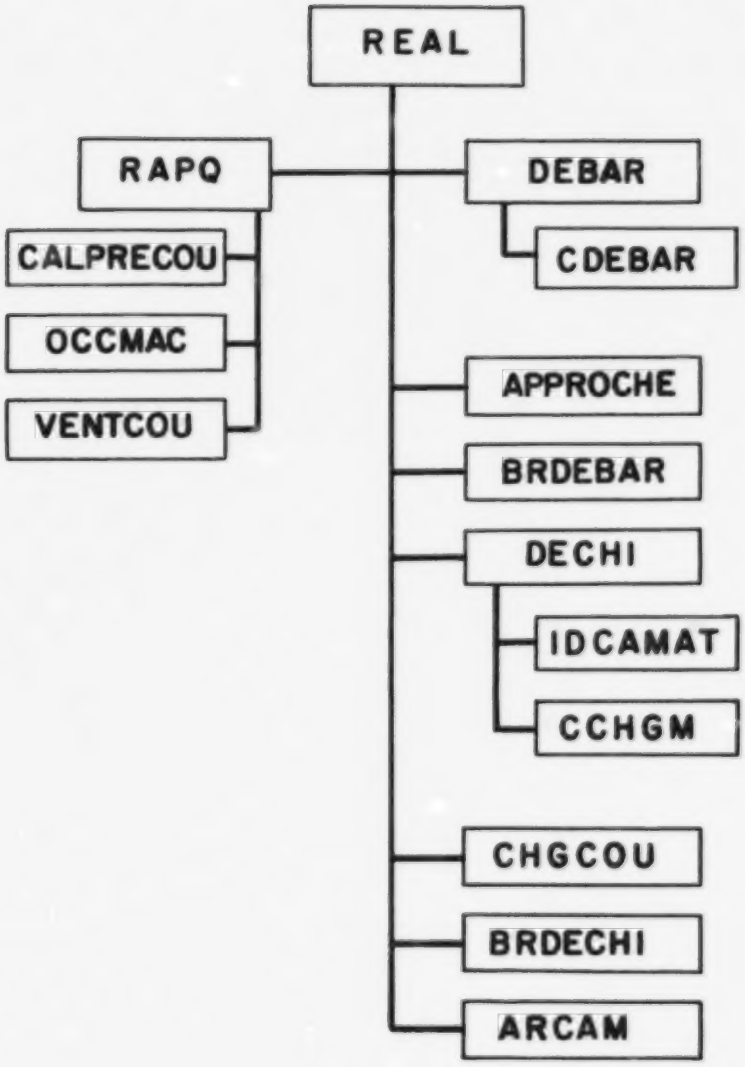
UNFR: fonction pour générer la durée d'une activité d'après une distribution uniforme.

EXPON: fonction pour générer la durée d'une activité d'après une distribution exponentielle.

REPLACE: fonction qui maintient la matrice ACTIVITÉ à jour.

2 - PRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DU PROGRAMME SIMULE




REAL
RAPQ
CALPRECOU
OCCMAC
VENTCOU
DEBAR
CDEBAR
APPROCHE
BRDEBAR
DECHI
IDCAMAT
CCHGM
CHGCOU
BRDECHI
ARCAM

3- LISTE DU PROGRAMME DU MODULE "SIMULATION"

PROGRAMME PRINCIPAL DU MODULE SIMULATION :

```
    ▼ SIMULE;A
[1]   ⍝   PROGRAMME PRINCIPAL
[2]   ⍝   PROGRAMME QUI DIRIGE TOUTES LES ETAPES DE LA SIMULATION
[3]   ⍝   (ENTREE DES DONNEES, VERIFICATION, EXECUTION)
[4]   ' '
[5]   '      CE BLOC DE TRAVAIL PERMET LA SIMULATION'
[6]   '      D''UNE OPERATION DE DECHIQUETAGE'
[7]   '      VOUS DEVEZ CHOISIR L''ETAPE APPROPRIEE'
[8]   ' '
[9]   RECO:2 1⍴' '
[10]  PHASE
[11]  '----->  ',NLF
[12]  →(4<A←⍷□)/0
[13]  ∈(3↓,(MENU[A;]))
[14]  →RECO
    ▼
```

FONCTIONS DE LECTURE :

```
    ▽ LECTURE;CHOIX
[1]   ⍝   MODULE DIRECTEUR DE LA SAISIE DES DONNEES
[2]   CHOIX←5
[3]   ' '
[4]   '1-DESCRIPTION DE L''OPERATION SIMULEE'
[5]   '2-CARACTERISTIQUES DE CETTE SIMULATION'
[6]   '3-DONNEES POUR CHAQUE MACHINE'
[7]   '4-DUREE DES ACTIVITES'
[8]   '5-TERMINE'
[9]   RECO:'----->    ',NLF
[10]  →((CHOIX←∈⎕)>5)/RECO
[11]  →(CHOIX=5)/0
[12]  →(CHOIX=1)/ALPHA
[13]  →(CHOIX=2)/FOR2
[14]  'NOMBRE DE LIGNES DU TABLEAU: ',NLF
[15]  →(CHOIX=4)/DURA
[16]  ENTREE←((1↑∈⎕),12)⍴CREA ENTREE
[17]  →1
[18]  DURA:
[19]  DURACT←((1↑∈⎕),8)⍴CREA DURACT
[20]  →1
[21]  ALPHA:ALFA
[22]  →1
[23]  FOR2:ALFA1
[24]  →1
    ▽
```

```
    ▼ ALFA;C;NBMCA;DESCRP
[1]   ⍝   SAISIE DE LA DESCRIPTION DES MACHINES
[2]   'NOM DU PROJET: ',NLF
[3]   X←⍞
[4]   →(0=⍴X)/C1
[5]   PROJET←25↑X
[6]   C1:'SIMULATION: ',NLF
[7]   X←⍞
[8]   →(0=⍴X)/C2
[9]   PASSE←55↑X
[10]  C2:'DATE: ',NLF
[11]  X←⍞
[12]  →(0=⍴X)/0
[13]  DATE←15↑X
[14]  RECO:CAS←''⍴1 QN'INDIQUEZ LE MODE D''OPERATION DE CETTE SIMULATION: '
[15]  →(∨/CAS=1 2 3)/COO
[16]  (2 6↑1 6⍴'CAS 1:'),¯1 30↓CAX[1;]
[17]  (3 6↑1 6⍴'CAS 2:'),0 30↓CAX[2;]
[18]  (3 6↑1 6⍴'CAS 3:'),0 30↓CAX[3;]
[19]  →RECO
[20]  COO:NBMDB←1 QN'NOMBRE DE MODELES DE DEBARDEUSES: '
[21]  →(NBMDB=0)/BRX
[22]  C←0
[23]  BR1:C←C+1
[24]  'DESCRIPTION DES DEBARDEUSES DE MODELE ';C
[25]  DEBMOD←(NBMDB,50)↑DEBMOD
[26]  ⍞←DEBMOD[C;]
[27]  →(0=⍴DESCRP←⍞)/CO1
[28]  DEBMOD[C;]←50↑DESCRP
[29]  CO1:→(NBMDB>C)/BR1
[30]  BRX:NBMCA←1 QN'NOMBRE DE MODELES DE CAMIONS: '
[31]  NBMACH←1+NBMDB+NBMCA
[32]  C←0
[33]  BR2:C←C+1
[34]  'DESCRIPTION DES CAMIONS DE MODELE ';C
[35]  CAMMOD←(NBMCA,50)↑CAMMOD
[36]  ⍞←CAMMOD[C;]
[37]  →(0=⍴DESCRP←⍞)/CO2
[38]  CAMMOD[C;]←50↑DESCRP
[39]  CO2:→(NBMCA>C)/BR2
[40]  'DESCRIPTION DE LA DECHIQUETEUSE: '
[41]  ⍞←DECMOD
[42]  →(0=⍴DESCRP←⍞)/CO3
[43]  DECMOD←50↑DESCRP
[44]  CO3:C←0
[45]  BR3:C←C+1
[46]  CX[C;47+⍳50]←50 QA CX[C;⍳47]
[47]  →(8>C)/BR3
    ▼
```

```
    ▼ ALFA1
[1]   ⍝   SAISIE DE LA DESCRIPTION DE LA SIMULATION
[2]   NJAS←1 ⎕N QUEST[1;]
[3]   QUEST[2;],NLF
[4]   IMPRQ←ε⎕
[5]   QUEST[3;],NLF
[6]   TRAJR←ε⎕
[7]   CODUN←1 ⎕N QUEST[4;]
[8]   UNITE←,RFUNIT[CODUN;]
[9]   →(3≠CAS)/S2
[10]  BIOMAX←1 ⎕N QUEST[5;]
[11]  BIOAP←1 ⎕N QUEST[6;]
[12]  BIOD←1 ⎕N QUEST[7;]
[13]  BIOR←1 ⎕N QUEST[8;]
[14]  →TOUS
[15]  S2:→(1=CAS)/S1
[16]  BIOMAX←1 ⎕N QUEST[5;]
[17]  BIOAP←BIOR←0
[18]  BIOD←1 ⎕N QUEST[7;]
[19]  →TOUS
[20]  S1:BIOMAX←BIOD←10*5
[21]  BIOAP←BIOR←0
[22]  TOUS:INTCOUN←1 ⎕N QUEST[9;]
[23]  INTCOU←INTCOUN
[24]  JOUR←1 ⎕N QUEST[10;]
[25]  PRIME←1 ⎕N QUEST[11;]
[26]  BENMARG←1 ⎕N QUEST[12;]
    ▼
```

```
    ▼ R←A CREA B;RO;C;DR;D
[1]   ⍝   MODULE DE SAISIE DE DONNEES D'ENTREE
[2]   ⍝   SOUS LA FORME D'UN TABLEAU
[3]   B←A↑B
[4]   →(12≠¯1↑⎕A)/CON
[5]   B←0 1↓B
[6]   CON:RO←1↑⍴B
[7]   '(P)RECEDENT    (S)AUT    (T)ERMINE'
[8]   'LIGNE     COORDONNEES'
[9]   C←0
[10]  BR:C←C+1
[11]  NBR:'C←1'SI(C≤0)
[12]  'C←RO'SI(C>RO)
[13]  DR←C
[14]  (,('I3'⍕FMT C)),'        ';,B[C;]
[15]  (,('I3'⍕FMT C)),'        ',NLF
[16]  'C←C-2'SI('P'=1↑D←⍞)
[17]  'C←C-1'SI~(∨/(1↑D)='PST⍴\.¯ 1234567890')
[18]  'C←C+1'SI('S'=1↑D)
[19]  →(DR≠C)/BR
[20]  →('T'=1↑D)/FIN
[21]  →(~(∧/D∈'.¯ \⍴1234567890'))/NBR
[22]  →(0=⍴D)/CT
[23]  B[C;]←(¯1↑⍴B)↑(⍎D)
[24]  CT:→(C<RO)/BR
[25]  FIN:B←B[⍋B[;2];]
[26]  B←B[⍋B[;1];]
[27]  →(8=¯1↑⎕A)/NOREF
[28]  B←(((1↑⎕A),1)⍴\(1↑⎕A)),B
[29]  NOREF:R←B
    ▽
```

FONCTIONS DE VERIFICATION :

```
    ▼ VERIF;RESTE
[1]   ⍝   IMPRESSION DES DONNEES D'ENTREE AFIN DE LES VERIFIER
[2]   0⍴⎕,⎕←'AJUSTEZ LE PAPIER A LA DERNIERE LIGNE DE LA PAGE ET FAITES
      RETURN'
[3]   2 1⍴' '
[4]   SIM1S
[5]   2 1⍴' '
[6]   '     DESCRIPTION DE L''OPERATION SIMULEE ET DES VARIABLES DU MILI
      EU'
[7]   '     ------------------------------------------------------------
      -'
[8]   2 1⍴' '
[9]   0 30↓CAX[CAS;;]
[10]  2 1⍴' '
[11]  'MACHINES EMPLOYEES'
[12]  '------------------'
[13]  ' '
[14]  →(0=NBMDB)/S1
[15]  '     DEBARDEUSES'
[16]  ⎕←'X15,⎕MODELE: ⎕,I2,X10,50A1'⍪FMT(⍉(1↑⍴DEBMOD);DEBMOD)
[17]  ' '
[18]  S1:'     DECHIQUETEUSE'
[19]  (15⍴' '),'MODELE:   ',(10⍴' '),DECMOD
[20]  ' '
[21]  '     CAMIONS'
[22]  ⎕←'X15,⎕MODELE: ⎕,I2,X10,50A1'⍪FMT(⍉(1↑⍴CAMMOD);CAMMOD)
[23]  RESTE←|13-(1↑⍴DEBMOD)+(1↑⍴CAMMOD)
[24]  (RESTE,1)⍴' '
[25]  'LOT RECOLTE'
[26]  '-----------'
[27]  0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1\[1](8 5⍴' '),(8 102↑CX)
[28]  14 1⍴' '
[29]  SIM2
[30]  SIM3
[31]  SIM4
    ▼
```

```
    ▼ SIM2
[1]   ⍝   IMPRESSION DES CARACTERISTIQUES DE LA SIMULATION
[2]   7 1⍴' '
[3]   'RENSEIGNEMENTS SUR CETTE SIMULATION'
[4]   '-----------------------------------'
[5]   ' '
[6]   'NOMBRE DE JOURS A SIMULER (NJAS)                                    :'
      ⍎NJAS
[7]   'UN RAPPORT QUOTIDIEN SERA PRESENTE POUR LES JOURS (IMPRQ)           :'
      ⍎IMPRQ
[8]   'LA TRACE DES ACTIVITES SERA PRESENTEE POUR LES JOURS (TRAJR)        :'
      ⍎TRAJR
[9]   ' '
[10]  'L''UNITE DE MESURE DE LA BIOMASSE EST (SELON LE CODE INSCRIT)       :
      '⍎UNITE
[11]  ' '
[12]  'QUANTITE MAXIMALE DE BIOMASSE QUI PEUT ETRE PLACEE A LA PORTEE'
[13]  'DE LA DECHIQUETEUSE (BIOMAX)                                        :'
      ⍎BIOMAX
[14]  ' '
[15]  'UNE DEBARDEUSE APPROCHERA DU BOIS SI LA QUANTITE DE BIOMASSE A'
[16]  'LA PORTEE DE LA DECHIQUETEUSE EST MOINDRE QUE (BIOAP)               :'
      ⍎BIOAP
[17]  ' '
[18]  'QUANTITE DE BIOMASSE A LA PORTEE DE LA DECHIQUETEUSE AU DEBUT'
[19]  'DE LA SIMULATION (BIOD)                                             :'
      ⍎BIOD
[20]  ' '
[21]  'QUANTITE DE BIOMASSE ENTREPOSEE AU SITE DE DECHIQUETAGE AU '
[22]  'DEBUT DE LA SIMULATION (BIOR)                                       :'
      ⍎BIOR
[23]  ' '
[24]  'NOMBRE DE CAMIONS QUI PEUVENT ETRE CHARGES PAR LA DECHIQUETEUSE'
[25]  'SANS DEVOIR CHANGER LES COUTEAUX (INTCOUN)                          :'
      ⍎INTCOUN
[26]  ' '
[27]  'DUREE DE LA JOURNEE DE TRAVAIL EN MINUTES (JOUR)                    :'
      ⍎JOUR
[28]  ' '
[29]  'PRIME POUR LE TRAVAIL EN TEMPS SUPPLEMENTAIRE EN POURCENTAGE'
[30]  'DU SALAIRE DE BASE (PRIME)                                          :'
      ⍎PRIME
[31]  ' '
[32]  'BENEFICES MARGINAUX EN POURCENTAGE DU SALAIRE DE BASE (BENMARG):'
      ⍎BENMARG
[33]  8 1⍴' '
[34]  'REMARQUES'
[35]  '---------'
[36]  17 1⍴' '
    ▼
```

```
    ▼ SIM3;AS;ASX
[1]   ⍝   IMPRESSION DES DONNEES D'ENTREE POUR CHAQUE MACHINE (ENTREE)
[2]   5 1⍴' '
[3]   AS←0 1↓ENTREE
[4]   FCX←MACH[AS[;1];]
[5]   ASX←'X4,13A1,I8,I13,I12,BF9.2,I10,BF11.2,BF10.2,2BF9.2,BF14.2'
      ▲FMT(FCX;(0 1↓AS))
[6]   XTDONNE[11;57 58 59]←UNITE
[7]   XTDONNE
[8]   ' '
[9]   ASX
[10]  4 1⍴' '
[11]  XTDONX[5;46 47 48 79 80 81 112 113 114]←9⍴UNITE
[12]  XTDONX[9;46 47 48]←UNITE
[13]  XTDONX[12;46 47 48 79 80 81]←6⍴UNITE
[14]  XTDONX
[15]  ((66-((1↑⍴XTDONNE)+(1↑⍴XTDONX)+NBMACH+8)),1)⍴' '
    ▼
```

```
    ▼ SIM4;RO;FMT;X1;X2;X3;X4;X5;C
[1]   ⍝   IMPRESSION DU TABLEAU DES DUREES DES ACTIVITES
[2]   RO←1↑⍴DURACT
[3]   4 1⍴' '
[4]   XTDUX
[5]   C←0
[6]   BR:C←C+1
[7]   X1←1 6⍴(MACH[DURACT[C;1];])
[8]   X2←DURACT[C;2]
[9]   X3←1 55⍴MATDUX[DURACT[C;1];DURACT[C;3];]
[10]  X4←1 4⍴DISTRIB[DURACT[C;4];]
[11]  X5←1 4⍴DURACT[C;5 6 7 8]
[12]  FMT←'X4,6A1,X4,I2,X8,55A1,X9,4A1,X5,4BF7.1'
[13]  FMT ▲FMT(X1;X2;X3;X4;X5)
[14]  →(C<RO)/BR
[15]  4 1⍴' '
[16]  XTSPARAM
[17]  ((66-(1↑⍴XTDUX)+(1↑⍴XTSPARAM)+RO+C),1)⍴' '
    ▼
```

```
    ▽ CORRIGE
[1]   ⍝ INSTRUCTIONS SUR LA FACON DEPROCEDER AUX CORRECTIONS
[2]   '   POUR EFFECTUER UNE CORRECTION, CHOISISSEZ LE MODULE DE'
[3]   'LECTURE ET APPORTEZ LE(S) CHANGEMENT(S) A(AUX) ITEM(S) APPROPRIE(
      S)'
[4]   ' '
[5]   'POUR LE FORMULAIRE  "CARACTERISTIQUES DE CETTE SIMULATIOIN" ,'
[6]   'SPECIFEZ DIRECTEMENT LES VARIABLES A CORRIGER'
    ▽
```

FONCTIONS DE SIMULATION :

```
    ▼ DEBUT;Y;I;D
[1]   ⍝   MISE EN MARCHE DE LA SIMULATION AU DEBUT DE CHAQUE JOURNEE
[2]   0⍴⎕,⎕←'AJUSTEZ LE PAPIER A LA DERNIERE LIGNE ET FAITES RETURN'
[3]   NBL←1↑⍴ENTREE
[4]   STAT←6 5⍴0
[5]   STAT[;4]←10000
[6]   ACT←(NBL,20)⍴0
[7]   CUMULE←(NBL,14)⍴0
[8]   ACT[;1 2 3]←CUMULE[;1 2 3]←ENTREE[;1 2 3]
[9]   JR←0
[10]  NOUVELLEJOURNEE:
[11]  JR←JR+1
[12]  →(~(TRACE←(∨/(JR∈TRAJR))))/S1
[13]  2 1⍴' '
[14]  '                                          TRACE DE LA JOURNEE ';JR
[15]  S1:DECATB←DECATC←DEBAT←CAMAT←APR←0
[16]  ACT[;3+⍳17]←0
[17]  ACT[;6 7 8 9]←ENTREE[;3+⍳4]
[18]  ACT[;18]←15+(?NBL⍴1500)÷100
[19]  ACT[;5]←+/ACT[;6 18]
[20]  ACT[((ACT[;2]=1)/⍳NBL);4]←8
[21]  ACT[D←((ACT[;2]=2)/⍳NBL);4]←5
[22]  Y←,(ACT[;2]=3)/⍳NBL
[23]  I←1
[24]  BOUC:ACT[Y[I];9]←JOUR+ACT[D;6]-ENTREE[Y[I];7]
[25]  ACT[Y[I];5 11]←ACT[Y[I];5 11]+3 GENDUR ACT[Y[I];]
[26]  →((⍴Y)≥I←I+1)/BOUC
[27]  ACT[Y;4]←7
[28]  REAL
[29]  →(JR<NJAS)/NOUVELLEJOURNEE
[30]  RAPF
    ▼
```

```
    ▽ REAL;X;LPA;OPE;OPERA
[1]   ⍝   MODULE DE CONTROLE DE LA REALISATION DES ACTIVITES
[2]   NBL←1↑⍴ACT
[3]   BOUC:HEURE←L/(ACT[((ACT[;5]≥0)/⍳NBL);5])
[4]   →(HEURE=6000)/FIN
[5]   LPA←,((ACT[;5]=HEURE)/⍳NBL)
[6]   →(1=X←+/((OPE←,(ACT[LPA;4]))=4))/ERR2
[7]   →(X>2)/ERR3
[8]   →(X=0)/UNE
[9]   LPA←(OPE=4)/LPA
[10]  OPE←4
[11]  →(ACT[LPA[1];2]=3)/CAMDEC
[12]  VTD←ACT[LPA[1];]
[13]  VTC←ACT[LPA[2];]
[14]  →GEN
[15]  CAMDEC:VTC←ACT[LPA[1];]
[16]  VTD←ACT[LPA[2];]
[17]  →GEN
[18]  UNE:VTS←ACT[LPA[1];]
[19]  GEN:HEURE←1↑HEURE
[20]  →(~TRACE)/S1
[21]  'HEURE: ';HEURE
[22]  S1:OPERA←,FCT[1↑OPE;]
[23]  →(~TRACE)/S2
[24]  '    ','ACTIVITE: ';OPERA
[25]  S2:∈OPERA
[26]  →BOUC
[27]  FIN:→(~TRACE)/S3
[28]  3 1⍴' '
[29]  0⍴⎕,⎕←'AJUSTEZ LE PAPIER A LA DERNIERE LIGNE ET FAITES RETURN'
[30]  S3:RAPQ
[31]  →0
[32]  ERR2:→AT;'UNE SEULE ACTIVITE DE DECHIQUETAGE, ARRET DU TRAITEMENT'
[33]  ERR3:→AT;'PLUS DE DEUX MACHINES IMPLIQUEES AU DECHIQUETAGE, ARRET
      DU TRAITENET'
[34]  AT:∈')SI CLEA'
[35]  →0
    ▽
```

```
    ▼ DEBAR
[1]   ⍝   SIMULATION DU DEBARDAGE -- DETERMINE OU LA BIOMASSE
[2]   ⍝   SERA DEPOSEE
[3]   →(BIOD<BIOMAX)/DECHAR
[4]   →(CAS=3)/RESER
[5]   →((+/(((ACT[;2]=3)/[1]ACT[;5])≠6000))≠0)/PASFJ
[6]   BIOD←BIOD+VTS[8]
[7]   VTS[4]←VTS[5]
[8]   VTS[13]←VTS[13]+VTS[8]
[9]   VTS[5]←6000
[10]  →0⍝REPLACE VTS
[11]  PASFJ:VTS[4]←9
[12]  VTS[5]←-VTS[5]
[13]  DEBAT←1
[14]  →0⍝REPLACE VTS
[15]  RESER:BIOR←BIOR+VTS[8]
[16]  VTS[14]←VTS[14]+VTS[8]
[17]  →TBRIS
[18]  DECHAR:BIOD←BIOD+VTS[8]
[19]  VTS[13]←VTS[13]+VTS[8]
[20]  →(DECATB=0)/TBRIS
[21]  DECATB←0
[22]  VTD←,((ACT[;2]=2)/[1]ACT)
[23]  VTD[16]←VTD[16]+WAIT←HEURE+VTD[5]
[24]  VTD[5]←HEURE
[25]  3 CALSTAT WAIT
[26]  VTD[4]←4
[27]  REPLACE VTD
[28]  VTC←,(ACT[;4]=10)/[1]ACT
[29]  VTC[17]←VTC[17]+WAIT←(HEURE+VTC[5])
[30]  VTC[4]←4
[31]  VTC[5]←HEURE
[32]  REPLACE VTC
[33]  TBRIS:→((?1000)>VTS[7])/PASBRIS
[34]  VTS[5 18]←VTS[5 18]+4 GENDUR VTS
[35]  VTS[4]←3
[36]  →0⍝REPLACE VTS
[37]  PASBRIS:CDEBAR
    ▼
```

```
    ▼ CDEBAR
[1]   ⍝   SIMULATION DES MOUVEMENTS DES DEBARDEUSES -- DETERMINE
[2]   ⍝   LA PROCHAINE ACTIVITE DE LA DEBARDEUSE
[3]   →(HEURE≥(JOUR+VTS[6]))/FINJOUR
[4]   TSUP:→((BIOD-VTS[8])≥BIOAP)/CTDB
[5]   →(APR=1)/CTDB
[6]   →(VTS[9]≠1)/CTDB
[7]   →(~∨/(ACT[;4]=4),ACT[;4]=10)/CTDB
[8]   →(BIOR≤VTS[8])/CTDB
[9]   APR←1
[10]  BIOR←BIOR-VTS[8]
[11]  VTS[4]←2
[12]  VTS[5 12]←VTS[5 12]+2 GENDUR VTS
[13]  VTS[15]←VTS[15]+VTS[8]
[14]  →TERM
[15]  CTDB:VTS[4]←1
[16]  VTS[5 10]←VTS[5 10]+1 GENDUR VTS
[17]  →TERM
[18]  FINJOUR:→(∨/6000≠((ACT[;2]≠1)/[1]ACT[;5]))/TSUP
[19]  VTS[4]←VTS[5]
[20]  VTS[5]←6000
[21]  TERM:REPLACE VTS
    ▼
```

```
     ▼ APPROCHE
[1]    ⍝ SIMULATION DES ACTIVITES DE LA DEBARDEUSE AFFECTEE
[2]    ⍝ A L'APPROCHAGE DE LA BIOMASSE ENTREPOSEE AU SITE DE
[3]    ⍝ DECHIQUETAGE
[4]    →(BIOD<BIOMAX)/DECHAR
[5]    BIOD←BIOD+VTS[8]
[6]    APR←0
[7]    CDEBAR
[8]    →TERM
[9]    PASFJ:VTS[4]←9
[10]   VTS[5]←-VTS[5]
[11]   DEBAT←1
[12]   →TERM
[13]   DECHAR:BIOD←BIOD+VTS[8]
[14]   →(DECATB=0)/TBRIS
[15]   DECATB←0
[16]   VTD←,((ACT[;2]=2)/[1]ACT)
[17]   VTD[16]←VTD[16]+WAIT←(HEURE+VTD[5])
[18]   VTD[5]←HEURE
[19]   3 CALSTAT WAIT
[20]   VTD[4]←4
[21]   REPLACE VTD
[22]   VTC←,(ACT[;4]=10)/[1]ACT
[23]   VTC[17]←VTC[17]+WAIT←(HEURE+VTC[5])
[24]   VTC[5]←HEURE
[25]   VTC[4]←4
[26]   REPLACE VTC
[27]   TBRIS:→((?1000)>VTS[7])/PASBRIS
[28]   VTS[5 18]←VTS[5 18]+4 GENDUR VTS
[29]   VTS[4]←3
[30]   APR←0
[31]   →TERM
[32]   PASBRIS:→(~∨/ACT[;4]=4)/CESAPR
[33]   →(BIOR<VTS[8])/CESAPR
[34]   BIOR←BIOR-VTS[8]
[35]   VTS[5 12]←VTS[5 12]+2 GENDUR VTS
[36]   VTS[15]←VTS[15]+VTS[8]
[37]   →TERM
[38]   CESAPR:APR←0
[39]   CDEBAR
[40]   TERM:REPLACE VTS
[41]   →0
[42]   BREAK:'TRAITEMENT INTERROMPU'
[43]   ∈')SI CLEAR'
     ▼


     ▼ BRDEBAR
[1]    ⍝   SIMULATION DE LA FIN DU BRIS D'UNE DEBARDEUSE
[2]    CDEBAR
     ▼
```

```
    ▼ DECHI;BIN;NBD;MATDEB;C
[1]   ⍝   SIMULATION DU DECHIQUETAGE ET DU CHARGEMENT D'UN CAMION
[2]   →(VCAM>0)/CHARGE
[3]   INTCOU←INTCOU-1
[4]   →(VTC[5]≥VTC[9])/DURFU
[5]   →((?1000)>VTC[7])/DURVOY
[6]   VTC[5 18]←VTC[5 18]+4 GENDUR VTC
[7]   →(VTC[5]≥VTC[9])/DURFU
[8]   DURVOY:VTC[5 11]←VTC[5 11]+1 GENDUR VTC
[9]   VTC[14]←VTC[14]+VTC[8]
[10]  VTC[4]←7
[11]  →TBDEC
[12]  DURFU:VTC[4 11]←VTC[5 11]+2 GENDUR VTC
[13]  VTC[14]←VTC[14]+VTC[8]
[14]  VTC[5]←6000
[15]  TBDEC:REPLACE VTC
[16]  →((?1000)≤VTD[7])/BRISD
[17]  →(INTCOU≤0)/COUTEAU
[18]  →(CAMAT=1)/IDCAM
[19]  DECATC←1
[20]  VTD[5]←-VTD[5]
[21]  VTD[4]←11
[22]  →TFJOUR
[23]  BRISD:VTD[5 18]←VTD[5 18]+4 GENDUR VTD
[24]  VTD[4]←6
[25]  →TFJOUR
[26]  COUTEAU:VTD[5 11]←VTD[5 11]+2 GENDUR VTD
[27]  VTD[14]←VTD[14]+1
[28]  INTCOU←INTCOUN
[29]  VTD[4]←5
[30]  →TFJOUR
[31]  IDCAM:VTC←IDCAMAT
[32]  VTC[16]←VTC[16]+WAIT←(HEURE+VTC[5])
[33]  VTC[5]←HEURE
[34]  VTC[4]←4
[35]  1 CALSTAT WAIT
[36]  VCAM←VTC[8]
[37]  CHARGE:CCHGM
[38]  →0
[39]  TFJOUR:→((+/(((ACT[;2]=3)/[1]ACT[;5])≠6000))≠0)/PASFJ
[40]  VTD[4]←|VTD[5]
[41]  VTD[5]←6000
[42]  →(DEBAT=0)/PASFJ
[43]  NBD←+/BIN←ACT[;4]=9
[44]  MATDEB←BIN/[1]ACT
[45]  C←0
[46]  BR:C←C+1
[47]  MATDEB[C;16]←MATDEB[C;16]+WAIT←HEURE+MATDEB[C;5]
[48]  4 CALSTAT WAIT
[49]  →(C<NBD)/BR
[50]  MATDEB[;5]←6000
[51]  ACT[BIN/⍳NBL;]←MATDEB
[52]  PASFJ:REPLACE VTD
    ▼
```

```
    ▼ CHGCOU
[1]   ⍝   SIMULATION DE LA FIN D'UN CHANGEMENT DE COUTEAUX
[2]   VTD←VTS
[3]   →(CAMAT=1)/IDCAM
[4]   VTD[5]←-VTD[5]
[5]   VTD[4]←11
[6]   DECATC←1
[7]   REPLACE VTD
[8]   →0
[9]   IDCAM:VTC←,IDCAMAT
[10]  VTC[16]←VTC[16]+WAIT←HEURE+VTC[5]
[11]  VTC[5]←HEURE
[12]  VTD[4]←VTC[4]←4
[13]  1 CALSTAT WAIT
[14]  VCAM←VTC[8]
[15]  CCHGM
    ▼
```

```
    ▼ BRDECHI
[1]   ⍝   SIMULATION DE LA FIN DU BRIS D'UNE DECHIQUETEUSE
[2]   CHGCOU
    ▼
```

```
    ▼ ARCAM
[1]   ⍝   SIMULATION DE L'ARRIVEE D'UN CAMION AU SITE DE DECHIQUETAGE
[2]   VTC←VTS
[3]   →(DECATC=0)/CAT
[4]   VTD←,((ACT[;2]=2)/[1]ACT)
[5]   VTD[17]←VTD[17]+WAIT←(HEURE+VTD[5])
[6]   2 CALSTAT WAIT
[7]   VTD[4]←VTC[4]←4
[8]   VTD[5]←HEURE
[9]   DECATC←0
[10]  VCAM←VTC[8]
[11]  CCHGM
[12]  →0
[13]  CAT:VTC[5]←-VTC[5]
[14]  VTC[4]←12
[15]  CAMAT←1
[16]  REPLACE VTC
    ▼
```

```
    ▼ R←IDCAMAT;BIN;VTC;X
[1]   ⍝   RECHERCHE ET IDENTIFICATION D'UN CAMION EN ATTENTE
[2]   →((+/BIN←(ACT[;4]=12))>1)/PLUS
[3]   VTC←,(BIN/[1]ACT)
[4]   CAMAT←0
[5]   →BR2
[6]   PLUS:X←⌈/ACT[BIN/⍳NBL;5]
[7]   VTC←ACT[1↑((ACT[;5]=X)/⍳NBL);]
[8]   BR2:R←VTC
    ▼
```

FONCTIONS DE PRESENTATION DES RESULTATS:

```
    ▼ RAPQ;DUREX;Y;X;YY;NTEMP
[1]   ⍝   CONTROLE ET IMPRESSION DES RAPPORTS
[2]   ⍝   A LA FIN DE LA SIMULATION D'UNE JOURNEE
[3]   →(∨/ACT[;5]<0)/BREAK
[4]   DUREX←JOUR+ACT[;6]
[5]   Y←DUREX-ACT[;4]
[6]   YY←(10>⌈Y)/⍳NBL
[7]   →(0=⍴,YY)/CONT
[8]   ACT[YY;10]←ACT[YY;10]+Y[YY]
[9]   ACT[YY;4]←DUREX[YY]
[10]  CONT:ACT[;20]←30×⌈((ACT[;4]-DUREX)×(ACT[;4]>DUREX))÷30
[11]  ACT[;19]←(DUREX-ACT[;4])×(ACT[;4]<DUREX)
[12]  X←,(ACT[;2]=1)/⍳NBL
[13]  →(0=⍴X)/PDB
[14]  YY←ACT[X;13 14]÷⍉(2,(⍴X))⍴+/ACT[X;13 14]
[15]  ACT[X;10 11]←ACT[X;10 10]×YY
[16]  PDB:ACT[;Y]←ACT[;Y←10 11 12 16 17 18 19 20]÷60
[17]  CUMULE[;3+⍳11]←CUMULE[;3+⍳11]+ACT[;9+⍳11]
[18]  5 CALSTAT X←ACT[((ACT[;2]=2)/⍳NBL);13]
[19]  NTEMP←ACT[;(⍳3),(9+⍳11)]
[20]  CALPRECOU NTEMP
[21]  6 CALSTAT(+/MPC[;4])÷X
[22]  →(~(JR∈IMPRQ))/FIN
[23]  3 1⍴' '
[24]  SIM1
[25]  ' '
[26]  (40⍴' '),'OCCUPATION DES MACHINES EN HEURES'
[27]  (40⍴' '),'-----------------------------------'
[28]  ' '
[29]  (40⍴' '),'VALEURS DU JOUR ';JR
[30]  OCCMAC NTEMP
[31]  2 1⍴' '
[32]  3 1⍴' '
[33]  SIM1
[34]  ' '
[35]  (45⍴' '),'VENTILATION DES COUTS'
[36]  (45⍴' '),'---------------------'
[37]  ' '
[38]  (45⍴' '),'VALEURS DU JOUR ';JR
[39]  VENTCOU NTEMP
[40]  FIN:→0
[41]  BREAK:'*****  DES MACHINES ONT ETE LAISSEES EN ATTENTE APRES LE JOU
      R ';JR
[42]  'ARRET DU TRAITEMENT'
[43]  ∈')SI CLEAR'
    ▼
```

```
    ▼ RAPF;ALPSTAT;Z;MTEMP
[1]   ⍝   CONTROLE ET IMPRESSION DES RAPPORTS
[2]   ⍝   A LA FIN DE LA SIMULATION
[3]   MTEMP←CUMULE[;⍳3],CUMULE[;3+⍳11]÷NJAS
[4]   CALPRECOU MTEMP
[5]   3 1⍴' '
[6]   SIM1
[7]   ' '
[8]   (40⍴' '),'OCCUPATION DES MACHINES','EN HEURES'
[9]   (40⍴' '),'-----------------------','---------'
[10]  ' '
[11]  (30⍴' '),'VALEURS MOYENNES PAR JOUR POUR ';NJAS;' JOURS'
[12]  OCCMAC MTEMP
[13]  3 1⍴' '
[14]  SIM1
[15]  ' '
[16]  (45⍴' '),'VENTILATION DES COUTS'
[17]  (45⍴' '),'--------------------'
[18]  ' '
[19]  (30⍴' '),'VALEURS MOYENNES PAR JOUR POUR ';NJAS;' JOURS'
[20]  VENTCOU MTEMP
[21]  STAT[;2]←÷/STAT[;2 1]
[22]  STAT[;3]←((STAT[;3]-×/STAT[;2 2 1])÷STAT[;1]-1)*0.5
[23]  Z←(STAT[;1]≤1)/⍳6
[24]  →(0=⍴Z)/OK
[25]  STAT[Z;2 3 4]←0
[26]  OK:3 1⍴' '
[27]  SIM1
[28]  ' '
[29]  (40⍴' '),'STATISTIQUES DE PRODUCTION'
[30]  (40⍴' '),'--------------------------'
[31]  ' '
[32]  (40⍴' '),'NOMBRE DE JOURS SIMULES: ';NJAS
[33]  2 1⍴' '
[34]  XTSTAT
[35]  XTSTAT2[5;33+⍳15]←QUANTITE[CODUN;]
[36]  ALPSTAT←'BI9,4BF10.2'⍕FMT STAT
[37]  □←XTSTAT2,ALPSTAT
[38]  ((51-1↑⍴XTSTAT),1)⍴' '
    ▽
```

```
    ▼ CALPRECOU A;TREG;TSUP;TBASE
[1]   ⍝   CALCULS PRELIMINAIRES SUR LES COUTS DE LA JOURNEE
[2]   MPC←(NBL,4)⍴0
[3]   TBASE←ENTREE[;12]
[4]   TREG←(JOUR÷60)×TBASE×1+BENMARG÷100
[5]   TSUP←A[;14]×TBASE×1+PRIME÷100
[6]   MPC[;1]←TREG+TSUP
[7]   MPC[;2]←ENTREE[;8]
[8]   MPC[;3]←+/(A[;4 5 6])×ENTREE[;9 10 11]
[9]   MPC[;4]←+/MPC[;1 2 3]
    ▼
```

```
    ▼ OCCMAC A;ALPMMX;C;L;MMX;NUM;MNUM;PNUM;PAG
[1]   ⍝   CALCULS ET IMPRESSION DU TABLEAU DE L'OCCUPATION DES MACHINES
[2]   PAG←NBL+7
[3]   MMX←(NBL,18)⍴0
[4]   MMX[;(⍳10),15,16,17]←A[;(⍳6),(9+⍳4),(6+⍳3)]
[5]   MMX[;11]←+/MMX[;4 5 6 10 7 8 9]
[6]   MMX[;12]←A[;14]+JOUR÷60
[7]   MMX[;13]←100×(+/A[;4 5 6])÷MMX[;11]
[8]   MMX[;14]←100×1-÷/MMX[;9 11]
[9]   MMX[;18]←MPC[;4]
[10]  XTOM
[11]  PAG←PAG+1↑⍴XTOM
[12]  XTOM[6;102 103 104 110 111 112 118 119 120]←9⍴UNITE
[13]  C←0
[14]  BR:C←C+1
[15]  →(0=+/MMX[;2]=C)/S1
[16]  MACH[C;]
[17]  ⎕←'3BI4,BF10.2,2BF8.2,4BF7.2,BF8.2,BF7.1,2BI7,BI9,2BI8,BF9.2'⍪FMT
      NUM←((MMX[;2]=C)/[1]MMX)
[18]  XTTOM
[19]  PAG←PAG+2
[20]  MNUM←(+/[1]NUM)÷1↑⍴NUM
[21]  MNUM[13 14]←0
[22]  MNUM←3↓MNUM
[23]  →(C=2)/PC
[24]  ⎕←'12A1,BF10.2,2BF8.2,4BF7.2,BF8.2,BF7.1,2BI7,BI9,2BI8,BF9.2'⍪FMT(
      (1 12⍴'MOYENNE     ');(1 15⍴MNUM))
[25]  PAG←PAG+1
[26]  PC:PNUM←100×(MNUM÷MNUM[8])
[27]  PNUM[10]←+/PNUM[1 2 3]
[28]  PNUM[11]←+/PNUM[10 4 5 7]
[29]  PNUM[9 12 13 14 15]←0
[30]  ⎕←'12A1,BI10,2BI8,4BI7,BI8,3BI7,BI9,2BI8,BI9'⍪FMT((1 12⍴'POURCENTA
      GE ');(1 15⍴PNUM))
[31]  PAG←PAG+1
[32]  S1:2 1⍴' '
[33]  PAG←PAG+2
[34]  →(C<3)/BR
[35]  XTCSE
[36]  ((64-(PAG+1↑⍴XTCSE)),1)⍴' '
    ▼
```

```
    ▽ VENTCOU A;MX;MXT;MXT2;Z;C;NUM;BIN;NUM2;MVOL;PAG
[1]   ⍝   CALCUL ET IMPRESSION DU TABLEAU
[2]   ⍝   DE VENTILATION DES COUTS
[3]   PAG←NBL+7
[4]   MX←(NBL,19)⍴0
[5]   MX[;⍳7]←A[;⍳3],MFC
[6]   MXT←(⍉(3,NBL)⍴(MX[;4]÷+/A[;4 5 6]))×A[;4 5 6]
[7]   MVOL←A[;7 8 9]+10*¯10
[8]   MX[;8 11 14]←MXT÷MVOL
[9]   MXT2←(((⍉(3,NBL)⍴(MX[;5]÷+/A[;4 5 6]))×A[;4 5 6])+(A[;4 5 6])×
      ENTREE[;9 10 11])
[10]  MX[;9 12 15]←MXT2÷MVOL
[11]  MX[;10]←+/MX[;8 9]
[12]  MX[;13]←+/MX[;11 12]
[13]  MX[;16]←+/MX[;14 15]
[14]  Z←A[(A[;2]=2)/⍳NBL;7]
[15]  MX[;17 19]←MX[;4 7]÷Z
[16]  MX[;18]←(+/MX[;5 6])÷Z
[17]  XTVENCOU[2;74+⍳11]←TABUNITE[CODUN;]
[18]  XTVENCOU[3;112+⍳11]←TABUNITE[CODUN;]
[19]  XTVENCOU
[20]  PAG←PAG+(1↑⍴XTVENCOU)
[21]  C←0
[22]  BR:C←C+1
[23]  →(0=+/MX[;2]=C)/S1
[24]  MACH[C;]
[25]  NUM←(BIN←(MX[;2]=C))/[1]MX
[26]  PAG←PAG+2
[27]  →(C≠2)/AU
[28]  □←'I3,2I4,3BI7,BI8,2BF7.2,BF8.2,2BF7.2,BF8.2,2BF7.2,BF8.2,2BF7.2,BF8.2,B
      F8.2'⍕FMT NUM
[29]  →S1
[30]  AU:□←'I3,2I4,3BI7,BI8,2BF7.2,BF8.2,2BF7.2,BF8.2,2BF7.2,BF8.2,'
      ⍕FMT NUM[;⍳16]
[31]  XTTVC
[32]  □←'11A1,3BI7 ,BI8 ,66X1,2BF7.2,BF8.2'⍕FMT((1 11⍴'SOUS-TOTAL:');(1
      7⍴(+/[1]NUM[;4 5 6 7 17 18 19])))
[33]  PAG←PAG+1
[34]  NUM2←9⍴0
[35]  NUM2[1 4 7]←(+/[1](BIN/[1]MXT))÷(+/[1](BIN/[1]MVOL))
[36]  NUM2[2 5 8]←(+/[1](BIN/[1]MXT2))÷(+/[1](BIN/[1]MVOL))
[37]  NUM2[3 6 9]←(+/NUM2[1 2]),(+/NUM2[4 5]),(+/NUM2[7 8])
[38]  □←'11A1,X29,2BF7.2,BF8.2,2BF7.2,BF8.2,2BF7.2,BF8.2'⍕FMT((1 11⍴'MOY
      ENNE:    ');(1 9⍴NUM2))
[39]  PAG←PAG+1
[40]  S1:2 1⍴' '
[41]  PAG←PAG+2
[42]  →(C<3)/BR
[43]  XTTVC
[44]  □←'11A1,3BI7 ,BI8 ,66X1,2BF7.2,BF8.2'⍕FMT((1 11⍴'GRAND TOTAL');(1
      7⍴(+/[1]MX[;4 5 6 7 17 18 19])))
[45]  ((63-PAG),1)⍴' '
    ▽
```

FONCTIONS DE SERVICE :

```
    ▽ A CALSTAT B
[1]   ⍝   CUMULATION DES STATISTIQUES
[2]   STAT[A;4]←L/B,STAT[A;4]
[3]   STAT[A;5]←⌈/B,STAT[A;5]
[4]   STAT[A;⍳3]←STAT[A;⍳3]+(1,B,(B*2))
    ▽
```

```
    ▽ R←A GENDUR B
[1]   ⍝   GENERATEUR DE LA DUREE DES ACTIVITES
[2]   PARAM←,((DURACT[;1 2 3]∧.=(B[2 3],A)))/[1]DURACT[;3+⍳5]
[3]   PAR←1↓PARAM
[4]   R←∈(DISTRIB[(PARAM[1])])
    ▽
```

```
    ▽ R←MOY A
[1]   ⍝   GEERATION DE LA DUREE D'UNE ACTIVITE D'APRES
[2]   ⍝   UNE DISTRIBUTION MOYENNE (DUREE MOYENNE)
[3]   R←PAR[1]
    ▽
```

```
    ▽ R←NRML A
[1]   ⍝   GENERATION D'UNE VARIABLE D'APRES
[2]   ⍝   UNE DISTRIBUTION NORMALE
[3]   R←(?100 100)÷100
[4]   R←((¯2×⍟R[1])*0.5)×2○2×○R[2]
[5]   R←A[1]+A[2]×R
[6]   R←R⌈A[3]
[7]   R←R⌊A[4]
    ▽
```

```
    ▽ R←UNFR A
[1]   ⍝   GENERATION D'UNE VARIABLE D'APRES
[2]   ⍝   UNE DISTRIBUTION UNIFORME OU RECTANGULAIRE
[3]   R←A[1]+(?-/A[2 1])×100)÷100
    ▽
```

```
    ▽ R←EXPON A
[1]   ⍝   GENERATION D'UNE VARIABLE D'APRES
[2]   ⍝   UNE DISTRIBUTION EXPONENTIELLE
[3]   R←-A[1]×⍟(?100)÷100
[4]   R←R⌈A[2]
[5]   R←R⌊A[3]
    ▽

    ▽ REPLACE A
[1]   ACT[A[1];]←A
[2]   →(~TRACE)/0
[3]   '   ',MACH[A[2];],,'I3,I3,I6,□ HRE□,F7.2'⍕FMT 1 4⍴A[1 3 4 5]
    ▽

    ▽ SIM1
[1]   ⍝   IMPRESSION DE L'IDENTIFICATION DE LA SIMULATION
[2]   'PROJET: ';PROJET;'SIMULATION: ';PASSE;'DATE: ';DATE
    ▽

    ▽ A SI B
[1]   →(B×2)
[2]   0⍴∈A
    ▽

    ▽ REP←L QA T
[1]   T,NLF
[2]   REP←L↑□
    ▽

    ▽ REP←L QN T
[1]   T,NLF
[2]   REP←L↑∈□
    ▽
```